

Trabajo Fin de Grado

Diseño y desarrollo de una silla de ruedas low cost fabricada en plástico para situaciones de grandes catástrofes y pocos recursos.

Design and development of a plastic low cost wheelchair for situations of great catastrophes and low resources.

Autor/es

Ángel Laguna Fuertes

Directora

María Aránzazu Martínez Pérez

EINA
2019

RESUMEN

En el presente trabajo de fin de Grado se resume el proceso de diseño y desarrollo de una silla de ruedas destinada a lugares y momentos donde se requiera una gran cantidad de la misma.

El objetivo principal del proyecto es el de diseñar una silla de ruedas, de fácil montaje, teniendo en cuenta el proceso de fabricación y reduciendo en lo posible el uso del material sin que llegue a afectar a la buena funcionalidad del producto.

Se comenzó realizando una investigación sobre los componentes que generalmente forman este producto así como una búsqueda de los procesos y materiales más adecuados para su fabricación. También se llevó a cabo un estudio de la ergonomía tanto para el adecuado transporte del ocupante de la silla como para la adecuada postura del voluntario que empuja la silla.

Con la información obtenida en estos estudios se llegó a una fase de conceptualización donde se valoraron diferentes ideas que cubrieran los objetivos propuestos, eligiéndose 2 conceptos entre todos ellos para posteriormente fusionarlos en el concepto definitivo del proyecto.

El desarrollo detallado de este concepto final concluyó en un modelado en 3D. Dicho modelado sirvió para realizar ensayos resistentes que simularan las situaciones más críticas a las que se pudiera enfrentar el producto. Las piezas que soportaron las cargas pudieron ser optimizadas reduciendo su espesor y de este modo se ahorró material.

Finalmente se realizó una aproximación de los costes que supondría la fabricación de la silla de ruedas.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo, al personal del TIIP por la información proporcionada y la resolución de dudas y en especial a mi tutora por haberme guiado y enseñado tanto durante todo este proyecto.

ÍNDICE DE LA MEMORIA

0. OBJETIVO DEL PROYECTO Y PLANIFICACIÓN

0.2 Planificación.....	6
------------------------	---

1. SILLA DE RUEDAS

1.1 ¿Qué es?.....	7
1.2 Historia.....	7
1.2.1 Origen y usos.....	7
1.2.2 Tendencias actuales	7
1.3 Partes de la silla de ruedas	7
1.4 Clasificación.....	8
1.5 Usuarios	9
1.5.1 Ergonomía	9
1.6.1 Procesos productivos.....	10
Inyección	10
1.7 Normativa	11

2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

2.1 Información general	12
2.2 Requerimientos	12

3. GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS

3.1 Conceptos de plegado	13
3.2 Conceptos de montaje	14
3.3 Conceptos de regulación	14
3.4 Concepto de reducción de ruedas.....	15
3.5 Concepto de funciones secundarias	15
3. Selección de concepto.....	16

4. DESARROLLO PREVIO DEL CONCEPTO ELEGIDO

4.1 Concepto caja	17
4.2 Evolución a carrito.....	17
4.2.1 Dimensionamiento del concepto	18

5. DESARROLLO DETALLADO DEL CONJUNTO

5. Índice del anexo	20
5.1 Unión abisagrada con tapón	21
5.2 Unión de seguridad mediante manetas.....	21
5.3 Pieza multifuncional	22
5.4 Respaldo	23
5.5 Ruedas traseras y eje	25
5.6 Subconjunto patas delanteras.....	25
5.6.1 patas delanteras	25
5.6.2 Ruedas delanteras	26
5.6.3 Tubo de antiplegado	26
5.7 Asiento	26

6. SELECCIÓN DEL MATERIAL

6.1 Piezas metálicas.....	29
6.2 Piezas de plástico	29

7. CÁLCULO TEÓRICO DEL CLIPADO DE PIEZA MULTIFUNCIONAL

7.1 Cálculo teórico del clipado de la pieza multifuncional	30
--	----

8. ENSAYOS RESISTENTES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

8.1 Ensayo del asiento	32
8.1.1 Individuo sentado	32
8.1.2 Ensayo de choque frontal en las patas delanteras.....	33
8.2 Ensayo del respaldo	34
8.3 Cálculos teóricos del tapón y maneta	35
8.4 Ensayo de la pieza multifuncional	36

9. UTILIZACIÓN

1º Soltar cincha.....	38
2º Desplegar el asiento	38
3º Desplegar las patas.....	38
4º Extraer apoyacabezas del respaldo.....	39
5º Extraer apoyabrazos del respaldo	39

10. ESTIMACIÓN APROXIMADA DE COSTES

10.1 Proceso del cálculo de los costes.....	40
---	----

11. RENDERS

Renders	42
---------------	----

12. PLANOS

Plano respaldo.....	43
Plano Asiento.....	44
Plano pieza multifuncional	45

13. CONCLUSIONES

13.1 Conclusiones acerca del modelado	46
13.2 Conclusiones acerca de los cálculos resistentes.....	46
13.3 Conclusiones generales	46

14. LÍNEAS FUTURAS

Líneas futuras.....	48
---------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía.....	49
-------------------	----

0. OBJETIVO DEL PROYECTO Y PLANIFICACIÓN

0.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

El proyecto consiste en el diseño y desarrollo de una silla de ruedas, cuyo uso estará destinado a lugares y momentos donde se requiera una gran cantidad de la misma. Por este motivo la silla de ruedas ha de ser fabricable en un corto espacio de tiempo, eficientemente transportable y de fácil montaje.

La intención es proporcionar un elemento que permita el traslado de pacientes. No hay intención de que estos mismos puedan autopropulsarse, este es un factor limitante que se ha tenido en cuenta a la hora de tomar decisiones de diseño.

0.2 PLANIFICACIÓN

El proyecto se ha organizado y planificado según se muestra a continuación:

MARZO

L	M	X	J	V	S	D
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

ABRIL

L	M	X	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

MAYO

L	M	X	J	V	S	D
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

JUNIO

L	M	X	J	V	S	D
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

JULIO

L	M	X	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

AGOSTO

L	M	X	J	V	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

SEPTIEMBRE

L	M	X	J	V	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20		

■ Búsqueda de información

■ Redacción búsqueda

■ Conceptualización

■ Desarrollo

■ Ensayos resistentes

■ Maquetación y revisión definitiva del TFG

■ Depósito

1. SILLA DE RUEDAS

1.1 ¿QUÉ ES? [1] [2]

Una silla de ruedas es un **dispositivo físico** que posibilita o mejora la realización de actividades del aparato locomotor limitadas por deficiencias o discapacidades de tipo parcial o total.

Se compone como mínimo de un asiento con respaldo, y dos ruedas motrices. Además puede tener una o dos barras de agarre para poder empujarla y un reposapiés para el usuario que va sentado en ella, junto dos patas o ruedas de apoyo para que la silla de ruedas se mantenga estática en su estado en reposo.

Las sillas de ruedas están indicadas para permitir el desplazamiento de una persona que ha perdido la capacidad de deambulación, o cuando ésta ya no resulta funcional. Habrá casos en los que será la única forma de desplazamiento y otros en los que solo se empleará en circunstancias concretas, por ejemplo, distancias largas.

En cuanto a la **normativa** **vial** aunque se trata de un vehículo individual que podría llevar integrado un motor se considera al usuario como un peatón.

1.2 HISTORIA

1.2.1 ORIGEN Y USOS [3] [4]

Existen evidencias históricas del uso de medios de transporte con funcionalidades similares a la silla de ruedas actual, por lo que se consideran los antepasados de la misma. La primera aparición se observa en un grabado chino, perteneciente al periodo regido por la Dinastía Zhou (542 a.c), en el que se puede encontrar un sillón con tres ruedas destinado a ser impulsado por terceras personas.

Y no es hasta 1595 donde aparece una silla de ruedas concebida para transportar a una persona, en este caso fue fabricada para el monarca Felipe II. Poseía respaldo reclinable, reposapiés y una rueda en cada una de sus cuatro patas.

A partir de "Bath" en 1783, la primera silla de ruedas patentada, se fueron añadiendo mejoras tales como ruedas de goma y los aros adyacentes a estas

utilizados para la autopropulsión. En 1900 aparecen las primeras ruedas radiadas para sillas de ruedas, y más adelante en 1916 se crean las primeras sillas motorizadas.

Un gran hito histórico en el mundo de las sillas de ruedas fue la invención de la silla plegable de estructura tubular, por el ingeniero Harry Jennings en 1932, lo que supuso un gran avance en la fabricación y comercialización de este producto. Las sillas manuales en la actualidad son en esencia replicas mejoradas de la silla inventada por H.Jennings.



Figura 1.1 Dibujo de la silla inventada por H.Jennings.

1.2.2 TENDENCIAS ACTUALES

La última mejora notoria en la evolución de la silla de ruedas ha sido la incorporación de un motor que reduce los esfuerzos para empujar la silla o que incluso ha permitido al ocupante con poca movilidad poder conducirla él mismo con un pequeño joystick.

En la actualidad los avances que se proponen se centran en mejorar las características técnicas de las piezas que componen el producto, ya sea haciendo el conjunto más ligero y estéticamente más adaptado al entorno como permitiendo la integración de la silla en otros vehículos para trayectos largos, como un coche o una motocicleta.

1.3 PARTES DE LA SILLA DE RUEDAS

Consta de un **chasis** rígido o plegable sobre el que va montado el **asiento** y el **respaldo**. Ese mismo chasis puede servir como **reposabrazos** añadiéndole un acolchado. De la parte posterior del respaldo saldrá en forma de empuñadura algún elemento para empujar la silla. Aquí se sitúan las manetas de los **frenos** en algunos casos. Posee dos **ruedas traseras** grandes, que rotan pero que no direccionan, y otras **dos delanteras** pequeñas que pueden rotar libremente en su eje perpendicular al suelo a la vez que giran. Están situadas cerca del **reposapiés** cuya función es mantener un ángulo propicio en las rodillas para aligerar la presión en los muslos. (Ver Anexo 1)

1.4 CLASIFICACIÓN

Según uso y función:

SISTEMAS	Dependientes	Silla de posicionamiento (Figura 1.2)	Destinada a mantener la postura adecuada de pacientes con poca movilidad los cuales no logran hacer cambios de posición de manera independiente. Son reclinables
		Silla de transporte (Figura 1.3)	Necesita ser empujada por un acompañante. Como su nombre indica es utilizada para ayudar en el transporte de personas
	Autopropulsados	Sillas plegables o estándar/ortopédicas (Figura 1.4)	Incorporan barras de cruceta y un asiento y un respaldo
		Silla activa (Figura 1.5)	Carecen de apoyabrazos y poseen un respaldo bajo. Se trata de un dispositivo ultraligero y a diferencia de la anterior no puede ser plegada debido a su chasis rígido
		Silla deportiva (Figura 1.6)	Sus características varían según el deporte al que estén dirigidas
	Motorizados	Silla de ruedas eléctricas (Figura 1.7)	El movimiento lo produce un motor el cual acelera o decelera mediante el accionamiento de una palanca/joystick

Tabla 1.1 Clasificación de sillas comerciales



Figura 1.2 Silla de posicionamiento



Figura 1.3 Silla de transporte



Figura 1.4 Silla plegable



Figura 1.5 Silla activa



Figura 1.6 Silla deportiva



Figura 1.7 Silla de ruedas eléctricas

1.5 USUARIOS

Al tratarse de una silla de ruedas diseñada para el transporte de personas que carecen de movilidad el rango de posibles usuarios es muy amplio. En este proyecto se han agrupado para simplificar su estudio siguiendo el criterio de la secuencia de uso:

1. **Transporte:** Los usuarios en este grupo, que a partir de ahora se referirá como **los transportistas**, son los encargados de trasladar el producto desmontado desde el lugar de fabricación al punto de uso o bien entre distintos puntos de uso.
El producto se diseñará para ser fácilmente apilable para su transporte ocupando la mínima cantidad de espacio en el camión.

2. **Montaje y mantenimiento:** Este usuario, **el montador**, pertenece a la organización médica o de voluntariado encargada de ayudar a los damnificados por una catástrofe. Su función es preparar el producto para su uso. También se encarga de reemplazar las piezas necesarias para el correcto funcionamiento del producto.

La necesidad principal que se pretende solucionar en este proyecto es que la silla tenga un montaje sencillo de modo que se utilice el mínimo tiempo en el montaje/desmontaje de las piezas y que se pueda realizar con unas simples instrucciones.

3. **Uso:** En esta fase se encuentran dos tipos de usuarios uno es **el ocupante** temporal del dispositivo, es decir **el paciente**. Dado que el uso de la silla es temporal la comodidad del ocupante no es la principal necesidad a solucionar sino que él pueda mantener una postura adecuada al tipo de daño que padezca.

El otro usuario involucrado, **el voluntario**, se encarga de empujar la silla de ruedas desde la zona de recogida del ocupante hasta el destino final. En este proyecto no se contempla la autopropulsión manual de la silla por lo que los esfuerzos que soportará para trasladar el peso del ocupante y la silla deben ser los mínimos posibles.

1.5.1 ERGONOMÍA [1]

A continuación se muestran las medidas recomendadas por algunos fabricantes para una correcta postura en la silla de ruedas, algunas de ellas tienen como referencia los aros de propulsión de las ruedas pero en este proyecto no se ha contemplado tenerlos por lo que se ha procurado seguir en la medida de lo posible las recomendaciones sin esa referencia (*Información ampliada en Anexo 2*):

1. **Asiento:** Debe ser **2-4 cm** más ancho que las caderas para evitar puntos de presión y el hueco poplíteo debe quedar a **3-5 cm** del borde del asiento. Es aconsejable que disponga de una inclinación en la parte de los glúteos de entre 1º y 4º para evitar que el usuario se deslice hacia delante.

El uso de cojines puede ayudar a mejorar la postura del usuario en el asiento si las condiciones anteriores no se pueden cumplir.

2. **Respaldo:** Si el usuario tiene un buen control de su tronco el respaldo se situará por debajo del omóplato, a unos **2,5 cm**, en el caso de tener un buen control. Mientras que si posee un mal control del tronco el respaldo deberá situarse a la altura del hombro y ligeramente basculada hacia atrás para ayudar a mantener el equilibrio.

En cualquiera de los dos casos siempre es más recomendable tener un respaldo rígido que flexible, siendo la inclinación respecto a la horizontal de entre **100º y 110º**.

3. **Reposapiés:** Tienen que ser regulables para evitar que queden demasiado altos, lo que haría que los muslos no llegaran a apoyar bien sobre el asiento con el consiguiente aumento de presión en los glúteos, o queden demasiado bajos con lo que el usuario terminaría deslizándose hacia delante. La altura adecuada será aquella que permita al usuario mantener un ángulo de 90º de flexión de rodilla.

Se deben situar a unos **10-13 cm** del suelo para evitar tropiezos con elementos del camino.

4. **Reposabrazos:** Debe quedar a **2 cm** por debajo del codo con el brazo extendido hacia abajo.

1.6 PRODUCCIÓN [5] [6]

La cantidad de piezas a fabricar por día es un factor muy importante a la hora de elegir adecuadamente un proceso productivo.

La demanda de sillas de ruedas ha aumentado considerablemente desde 2010 como se puede observar en el volumen de mercado que ha llegado a alcanzar en 2018.

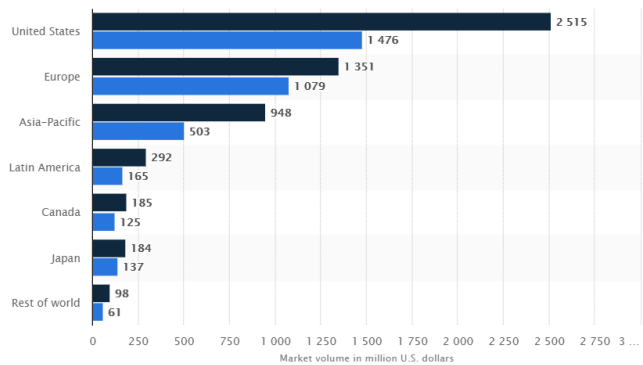


Figura 1.8 Estadística de la demanda global de sillas de ruedas

Según las estimaciones proporcionadas en la página web de “Wheelchair Foundation”, la demanda de sillas de ruedas, contando con el aumento diario de la población, es de 3.500 sillas al día. Son los países en desarrollo los más necesitados de este tipo de vehículos. El 2% de su población padece una discapacidad física que le impide caminar, lo cual supone 121.8 millones de personas de las cuales el 90% no tiene acceso a una silla de ruedas (190.620.000 personas) frente al 95% de las personas en países desarrollados que sí que lo tienen.

La silla que se pretende diseñar no es una silla para discapacitados. Se trata de una silla de bajo coste para situaciones concretas en las que se tendrá que cubrir la posible demanda que se pueda dar en una catástrofe.

1.6.1 PROCESOS PRODUCTIVOS [7]

Tabla comparativa de los posibles procesos de fabricación para este producto que pretende ser de bajo coste.

	Ventajas	Desventajas
Compresión	Moldes y maquinaria más barata. Adecuada para producciones pequeñas.	Tiempo de ciclo alto. Mucho material sobrante.
Transferencia	Mejor control dimensional que por compresión. Permite moldear con injertos de metal y plástico. Piezas con muchas cavidades.	Mayor pérdida de material y costes de herramientas más caros que por compresión. Tiempo de ciclo alto.
Inyección	Proceso automatizable. Tiempos de ciclo más cortos. Buen control dimensional.	Gran coste en las herramientas y maquinaria.
Termoformado	Bajo costo de maquinaria Puede sustituir al proceso de inyección en algunas piezas, se obtienen piezas más livianas. Tiempo de ciclo corto. Adecuado para prototipos.	No se logra uniformidad en espesor y fondo. Limitaciones para rigidizar las piezas mediante nervados. Produce desperdicio (se puede reutilizar con subprocesos).[8]

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de diferentes procesos de conformación del plástico

1.6.2 Proceso seleccionado: INYECCIÓN [9]

El proceso más indicado para este producto es el de inyección de plástico dado que es automatizable y puede fabricar una gran cantidad de piezas al día.

Además también existe la coinyección de plástico proceso por el cual se puede generar una pieza en la que coexisten dos elementos de características diferentes ya sean dos polímeros distintos o polímero y un gas inerte, esta última combinación permite generar piezas huecas por inyección.

Durante el proceso de inyección intervienen múltiples factores físicos (presión, temperatura, tiempo) que tienen un papel fundamental en la calidad final de la pieza. En este proyecto se ha tenido en cuenta el otro factor importante en el resultado final y es el diseño de una geometría adecuada para evitar los siguientes defectos:

1. **Rechupes/hundimientos:** Son defectos visuales típicos que afectan a la estética de la pieza, se muestran como hundimientos en la superficie de la pieza.

La manera de evitar que ocurra este defecto en cuanto al **diseño de la geometría** de la pieza es evitar: diferencias de espesor entre paredes, acumulaciones de material debido a la relación por ejemplo entre el grosor de un nervio y su radio.

El grosor de las paredes debe ser como mínimo el **40%** o el **60%** de las paredes adyacentes, en el caso de que las paredes sean altas se colocan nervios para endurecerlas.

En cuanto a las esquinas externas pueden ser finas pero deben ir acompañadas de un radio interno de modo que se eviten así tensiones que puedan generar deformaciones.

Las inclinaciones colocadas para asegurar un buen desmoldeo deben ser uniformes en toda la pieza, como norma general el ángulo de inclinación es de un **1 grado por 25 mm** de altura de pared).

El grosor de la pared viene determinado por el material utilizado.

2. **Pulido no uniforme:** Este defecto se puede apreciar visualmente al fijarse en el brillo superficial de una pieza dado que el brillo de una superficie es mayor en tanto menor sea su rugosidad. Esta rugosidad se compone de microdeforma-

ciones superficiales por donde puede comentar una grieta y posteriormente la fractura total de la pieza por lo que es un factor a tener muy en cuenta. Se recomienda usar un molde con las paredes pulidas al máximo posible y prestar especial atención a las variaciones de espesor de las paredes en la zona visible de la pieza.

3. **Alabeo:** La deformación afecta al contorno exterior, y al igual que el **hundimiento** se produce al utilizar paredes demasiado delgadas para el material elegido. En cuanto a utilizar materiales para reforzar la pieza ProtoLabs dice *“los materiales rellenos de vidrio, que tienen un buen comportamiento en piezas propensas al hundimiento, son menos resistentes al alabeo. Esto se debe a que las fibras de vidrio tienden a alinearse según el llenado, creando tensiones internas”*.

Por último añadir que los soportes internos como escuadras de refuerzo o nervaduras ofrecen un mejor comportamiento frente al alabeo.

(Información ampliada en Anexo 3)

1.7 NORMATIVA

La norma actual vigente a fecha de realización de este trabajo es la **ISO 9999:2016**, correspondiente a la **UNE-EN ISO 9999:2017**. Ambas tratan sobre la clasificación y terminología de productos de apoyo para personas con discapacidad.

En cuanto a la norma que recoge los requisitos y métodos de ensayos para sillas de ruedas de propulsión manual se encuentra la **UNE-EN 12183:2014**.

Las dimensiones totales máximas vienen recogidas en la norma **UNE 111915:1991**.

Por último los requisitos de seguridad y métodos de ensayos para transportes de ruedas para niños está la **UNE-EN 1888:2012**.

Se han consultado las normativas, pero al tratarse de una silla para un uso muy concreto, no es ni propulsada para discapacitados, ni para niños, se realizarán los ensayos críticos que permitan asegurar su funcionalidad.

2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

2.1 INFORMACIÓN GENERAL

A. Descripción de clientes. Usuarios planteados

1. El cliente se trata de una figura jurídica en representación de las organizaciones médicas o de voluntariado.
2. Durante la utilización de este producto coexistirán dos usuarios principalmente, uno de ellos será el encargado de la gestión del producto, esto incluye montaje y transporte hasta el lugar de uso, mientras que el otro usuario, llamado beneficiario, será transportado en el producto por el primero de los usuarios.
3. El usuario encargado del montaje no necesita de conocimientos específicos en sanidad, teniendo en cuenta que principalmente se tratarán de voluntarios/as. **(Deseable)**

B. Necesidades del cliente y expectativas razonables

1. El cliente requiere de una gran cantidad de suministro en el menor tiempo posible consiguiendo el precio más accesible. Para ello el diseño de la silla de ruedas se ha centrado en una rápida fabricación debido a su sencillez así como un transporte y montaje sencillo. **(Crítica)**

C. Usos del cliente y posibles abusos

1. El producto no está diseñado para ser un sustituto de una silla de ruedas a largo plazo sino como medio auxiliar de transporte para heridos, pero podría dejarse unos orificios para insertar ruedas a posteriori y darle este uso. **(Deseable)**
2. Forzar un mal montaje podría provocar un deterioro en las zonas de ensamblado. **(Crítica)**
3. El producto no está pensado para transportar adecuadamente más de un usuario. Sí que contempla la posibilidad de cargar con pequeños elementos sanitarios a modo de carretilla. **(Deseable)**
4. La silla puede no ser adecuada para el trasladarlo de un **ocupante** con lesiones demasiado graves, sería preferible una camilla.

2.2 REQUERIMIENTOS

A. Funciones a efectuar

1. Transportar a una persona que tenga la imposibilidad de hacerlo por sí misma. **(Crítica)**
2. Transportar material sanitario pequeño a modo de carretilla. **(Deseable)**

B. Diseño Mecánico

1. A razón de un diseño ergonómico debe poseer al menos una parte regulable que permita adaptarse a las distintas medidas que cada usuario puede tener. Esta parte sería el reposapiés siempre y cuando no suponga un encarecimiento del producto, ya que el objetivo es que sea económico además de tener un fácil montaje **(Deseable)**

C. Listado mínimo de piezas

1. **1 Asiento, 1 respaldo** (incluyendo agarre para empujar la silla), **1 soporte para las ruedas, 4 ruedas, 2 reposapiés y 2 reposabrazos**

D. Vida de servicio

1. La fiabilidad del producto debe abarcar al menos 1 año de intenso uso. Teniendo en cuenta que es un producto que va a estar en continuo uso, trasladándose de un entorno a otro con distintas condiciones.

Al ser un material contaminante para el medio ambiente el producto se desechará según la normativa correspondiente a su material. Gracias a su facilidad de desmontaje y el poco uso de materiales distintos, el reciclaje será sencillo. **(Crítica)**

E. Ergonomía y factores humanos

1. Transportar a una persona que tengan la imposibilidad de hacerlo por sí misma. **(Crítica)**

J. Materiales y recubrimientos

Preferiblemente plástico, metal cuando no sea posible el plástico.

3. GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS

En la elaboración de conceptos se ha buscado que las ideas cumplan los objetivos principales: **Facilidad del montaje**, **apilabilidad del conjunto** montado, versatilidad y **simplicidad del diseño** (se busca que haya el mínimo número de piezas para el montaje del producto).

3.1 CONCEPTOS DE PLEGADO

Un concepto que se propone es que la silla no sea desmontable (permanezca siempre como un único bloque) y para guardar sea plegable.

Entre la idea A y B la diferencia es la dirección de plegado del reposapiés, si bien en la opción B no serían necesarios mecanismos de sujeción para el reposapiés puesto que la fuerza que ejercería el ocupante sería contraria al giro de la bisagra, el problema es que el plegado resulta menos eficiente que en la opción A en dónde queda más compacto.

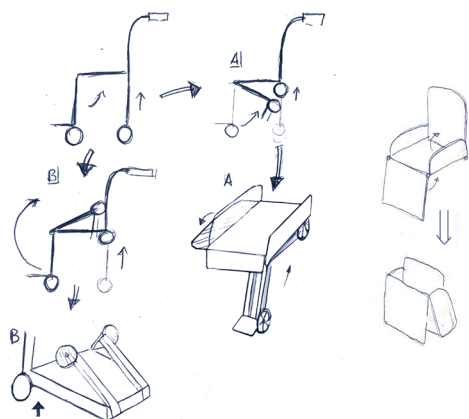


Figura 3.1 Boceto concepto 1

La siguiente idea surge de la observación de cómo se pliegan otros productos (en este caso un tendedero).

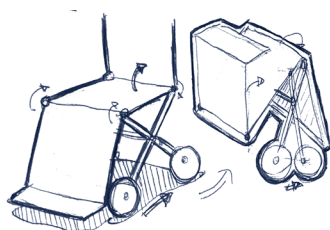


Figura 3.2 Boceto concepto 2

Otro modo de plegado basado en una silla puede

plegarse hasta generar un plano de un espesor de escasos centímetros con lo cual podría apilarse una gran cantidad de las mismas.

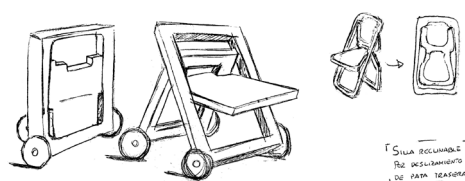


Figura 3.3 Boceto concepto 3

La silla podría disponer de unas láminas de plástico a modo de persiana que permitieran un plegado más óptimo.

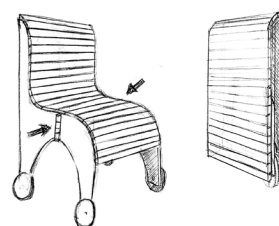


Figura 3.4 Boceto concepto 4

El plegado podría realizarse mediante la torsión de distintas secciones de figuras geométricas simples, como un cilindro o un prisma, ya que son figuras muy usadas en el transporte debido a su capacidad de ser fácilmente apilables aprovechando bien el espacio.

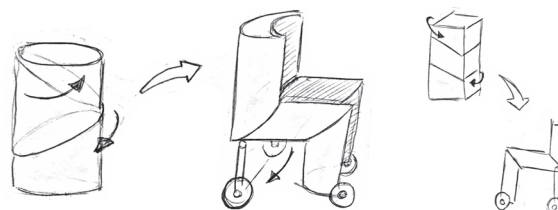


Figura 3.5 Boceto concepto 5

Al tratarse de grandes volúmenes se buscó la manera de seguir con esta idea pero optimizando el uso del material al pensar en la silla como un conjunto de planos unidos.

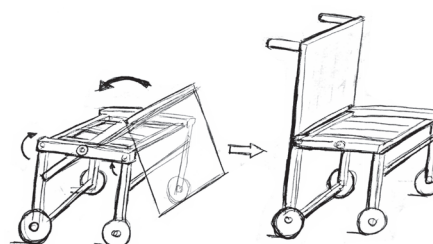


Figura 3.6 Boceto concepto 6

3.2 CONCEPTOS DE MONTAJE

En esta idea se propone una silla de piezas rígidas que se van montando, solo tienen un modo de montaje por lo que no puede haber errores de montaje. Mejora el apilado al poder desmontar las piezas.

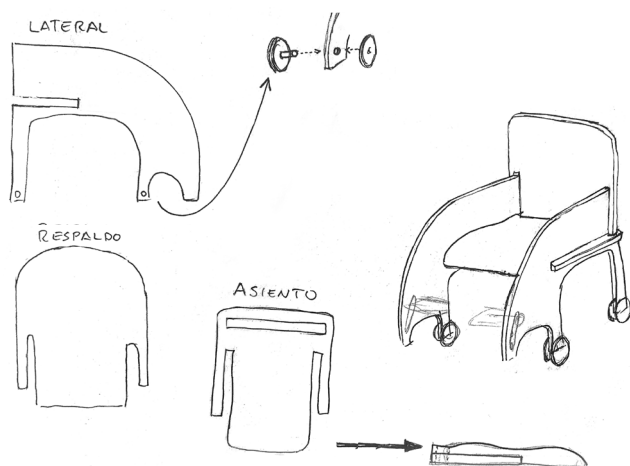


Figura 3.7 Boceto concepto 7

La disposición del respaldo con respecto al asiento sugiere que se podría disponer de una sola pieza que viniera acoplada en la esquina del reposapiernas con respecto al asiento.

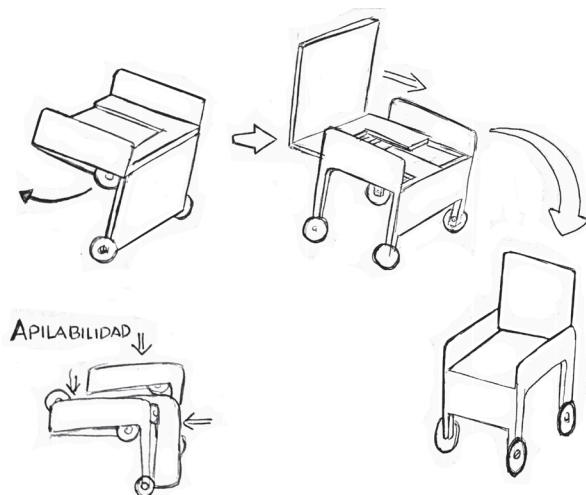


Figura 3.8 Boceto concepto 8

Como opción futura para este concepto se ha planteado dejar unos agujeros en los laterales para poder insertar ruedas con aros de propulsión, para que el ocupante sea el que maneje la silla de ruedas. De este modo el producto tendrá una segunda vida después de haber sido utilizado como silla auxiliar.

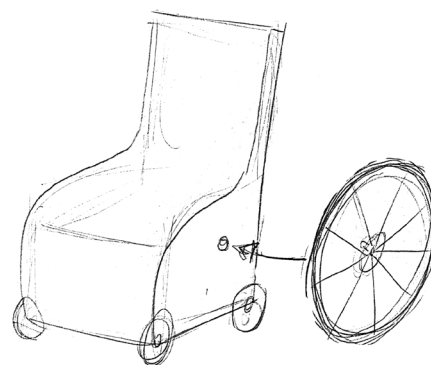


Figura 3.9 Boceto concepto 8 ampliado

3.3 CONCEPTOS DE REGULACIÓN

Reposapiés en dónde se puede ajustar la altura del mismo para ajustarse a la longitud de piernas del ocupante. Podría regularse el ángulo del reposapiés.

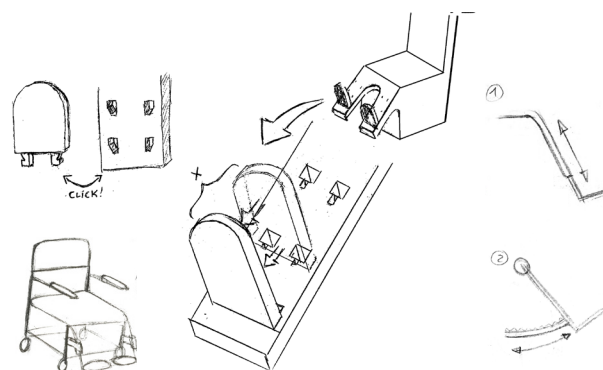


Figura 3.10 Boceto concepto 9

Esta idea parte de pensar en la silla como un bloque a la hora de ser transportada, de modo que se apilan una encima de otra sin dejar huecos entre ellas.

Además se podrían regular distintas alturas de reposapiés conforme se desliza el asiento con respecto al chasis.



Figura 3.11 Boceto concepto 10

3.4 CONCEPTO DE REDUCCIÓN DE RUEDAS

Con este concepto se proponía reducir el número de ruedas a razón de simplificar el montaje y el número de recursos utilizados.

Pero finalmente se vio que surgían problemas que empeoraban la calidad del transporte del ocupante, lo cual es crucial a la hora de elegir el concepto final.

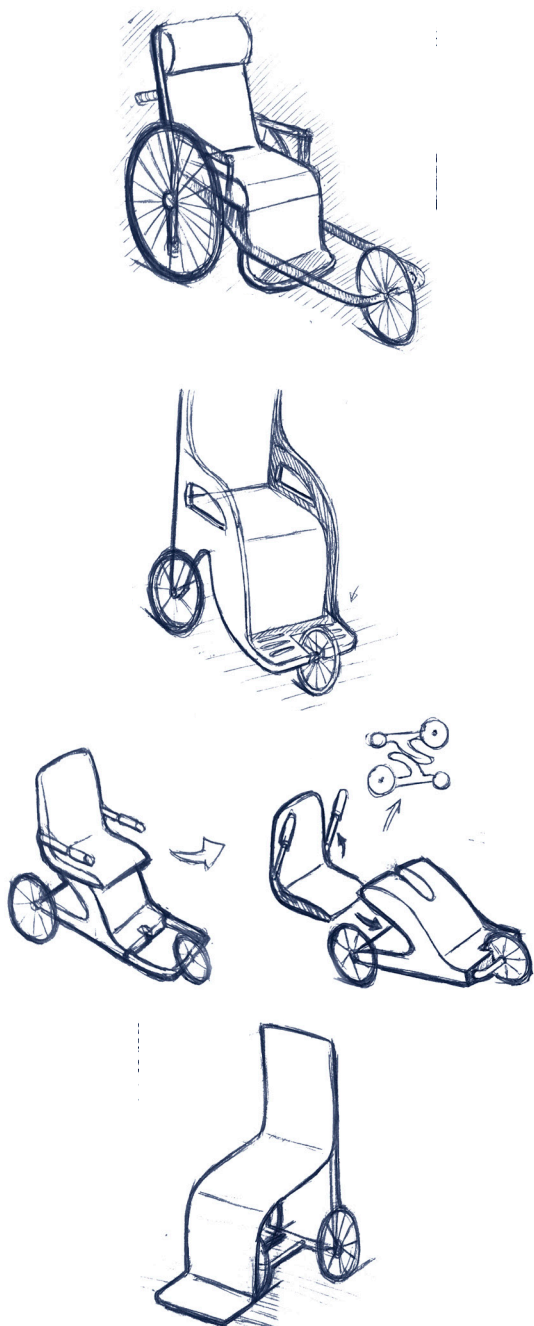


Figura 3.12 Bocetos concepto 11

3.5 CONCEPTO DE FUNCIONES SECUNDARIAS

La silla podría tener doble funcionalidad como camilla auxiliar, de modo que pudiera accederse con ella hasta el lugar donde se encuentra la persona herida.

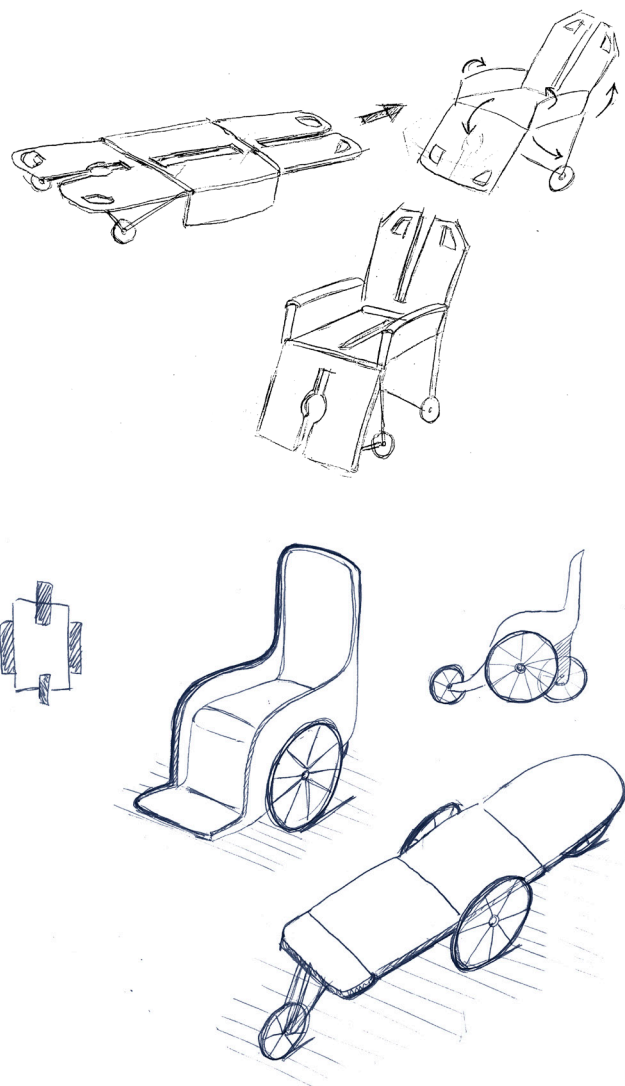


Figura 3.13 Boceto concepto 12

(Información ampliada de los apartados 3.1 a 3.6 en Anexo 4)

3.6 SELECCIÓN DE CONCEPTO

Se ha realizado una tabla donde se valoran los objetivos principales a cumplir del 1 al 5, siendo 5 la mejor puntuación.

Conceptos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total objetivo
Menor nº de piezas principales	2	2	5	3	3	5	5	4	2	4	1	1	37
Menor nº de piezas pequeñas o auxiliares para conseguir el montaje	3	3	5	4	1	3	4	4	3	2	1	1	34
Facilidad del montaje para el usuarios	2	3	5	1	5	3	5	5	4	5	4	4	46
Facilidad del montaje en fábrica	3	3	5	4	1	2	5	4	3	2	1	2	35
Apilabilidad del conjunto montado	3	3	4	3	5	4	5	4	1	2	1	3	38
Fabricabilidad de las piezas	4	4	5	3	2	1	5	4	2	1	3	3	37
Ergonomía	3	4	1	2	2	3	2	2	5	5	4	5	33
Versatilidad	1	1	1	1	1	1	4	3	1	1	1	5	21
Simplicidad del diseño de las piezas	3	4	5	4	1	2	5	4	3	1	1	2	35
Puntuación concepto	24	27	37	26	22	24	35	34	24	23	17	26	

Tabla 3.1 Selección de conceptos para desarrollar

Resultados de la tabla:

Los objetivos mejor cumplidos son la apilabilidad y la facilidad de montaje para el usuario mientras que la versatilidad y la ergonomía han sido los objetivos menos presentes en el conjunto de los conceptos, por lo tanto se ha hecho más hincapié en estos objetivos en el desarrollo del concepto final.

Los conceptos mejor valorados de la tabla son el 3 relacionado con la función de “plegable” y un número pequeño de piezas y el 7 por el hecho permitir montar piezas clipadas una sobre otra. Estas ideas se han usado como base para generar el concepto definitivo, desarrollado en el siguiente apartado.

4. DESARROLLO PREVIO DEL CONCEPTO ELEGIDO

4.1 CONCEPTO CAJA

Se ha llamado así a este concepto que parte de la idea de que sus componentes deben poder confi- narse en el espacio de una caja cuadrada siendo di- cha caja parte de la silla de ruedas. La intención es que el conjunto recogido pueda transportarse debi- do a la reducción de tamaño. En la siguiente imagen se muestra un esquema de las piezas que se van a utilizar.

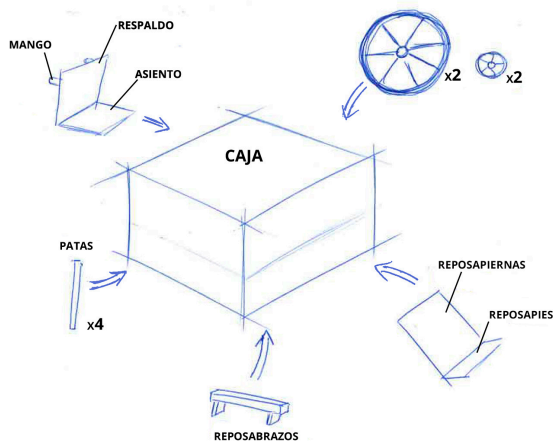


Figura 4.1 Concepto de silla-caja

Se han valorado dos alternativas para llevar a cabo la idea de la caja.

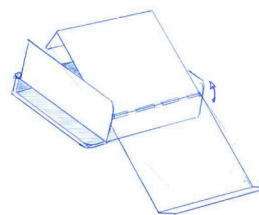
En la primera las piezas serían elementos que van guardados dentro de la propia caja formada por los reposabrazos como paredes, el asiento como base, el respaldo como tapa y el reposapiés como uno de los fondos. Las piezas se sacarían de dentro y se montarían en el exterior de la "caja".

La segunda alternativa que se planteó es que hubie- se partes previamente ensambladas al asiento de modo que simplemente se plegaran y desplegaran con una unión de bisagra.

Se valoraron distintas configuraciones de plegado que se pueden consultar en el anexo 5: Plegado de las cuatro patas y cierre de respaldo sobre asiento, plegado de los apoyabrazos para configurar la caja, respaldo deslizante para cerrar la caja.

Finalmente, y dada la dificultad de tener que blo- quear cada uno los plegados cuando la silla va mon- tada para evitar accidentes, se descartó la idea de "caja" y se evolucionó hacia la de "carrito".

RESPALDO PLEGADO [DIRECCIÓN 1]



RESPALDO PLEGADO [DIRECCIÓN 2]

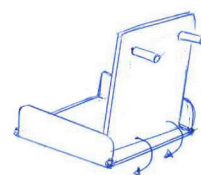
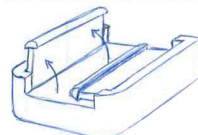


Figura 4.2 Modos de plegado del respaldo

REPOSABRAZOS PLEGADOS



RESPALDO PLEGADO

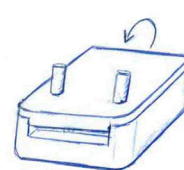
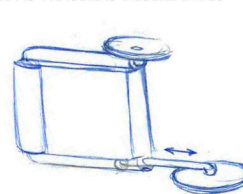


Figura 4.3 Plegado del reposabrazos

4.2 EVOLUCIÓN A CARRITO

En principio las ruedas irían montadas en tubos te-lescópicos que reducen el tamaño del carrito. Ven- drían montadas de fábrica.

RUEDAS TRASERAS DESLIZANTES



RUEDA DELANTERA



Figura 4.4 Ruedas traseras en tubos telescópicos

El siguiente paso era resolver las ruedas delanteras. Se pensó unirlas a un tubo cilíndrico con una unión que permitiera su giro. Este tubo estaría unido por su otro extremo al asiento de modo que pudiera plegarse hacia atrás quedando recogido debajo del asiento.

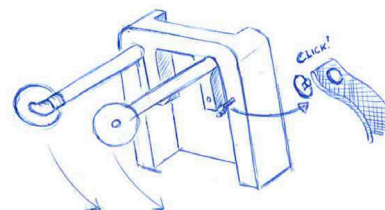


Figura 4.5 Patas delanteras plegables

Cambiando las dos ideas del plegado de las ruedas traseras y delanteras más la idea de que el respaldo tuviera un asa en su parte superior surgió el concepto de que la silla en vez de ser recogida a modo de maletín fuera tipo carrito. Con esto se consigue reducir los esfuerzos del transporte manual de la silla y además se aprovechan las ruedas traseras.

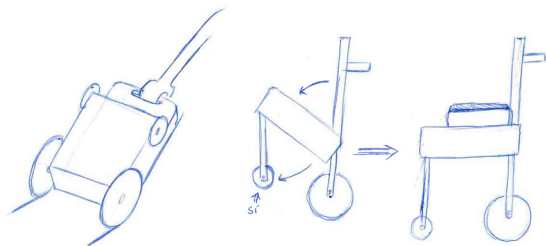


Figura 4.6 Concepto de plegado carrito

Posteriormente se realizaron bocetos tanteando las maneras en las que este concepto podría ser apilado teniendo en cuenta que vendría montado de fabrica. (Estos bocetos se pueden consultar en el Anexo 5)

4.2.1 DIMENSIONAMIENTO DEL CONCEPTO

Se han usado dos modelos antropométricos de la población española en edad de trabajar a escala 1:10, uno con las medidas del percentil 95 y otro con las del percentil 5. De este modo se validan las dimensiones para la mayor cantidad de población.

Voluntario: Se va a encontrar de pie todo el rato y estará en contacto con la silla a través de la empuñadura. Superponiendo los modelos y posicionando sus brazos en un ángulo cómodo (área pintada en verde) se obtiene una altura de 1000 mm.

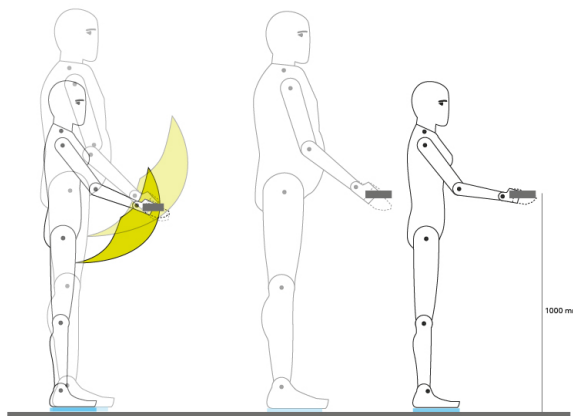


Figura 4.7 Zona de agarre del asidero

Ocupante: Estará sentado y en algunos casos apoyado en el respaldo de la silla.

Las piezas que entran en contacto con el ocupante son el respaldo, el asiento, el reposabrazos y el reposapiés.

- Longitud del asiento: 510 mm. Se determina en función de la longitud del fémur y suponiendo la espalda bien apoyada en el respaldo y con las rodillas dobladas de manera cómoda.
- Anchura del asiento: 460 mm. Será un poco más ancha que las caderas del percentil 95.
- Altura del respaldo: 580 mm. Se determina en función de los hombros para que estén correctamente apoyados. Se añadirá una pieza suplementaria para aumentar la altura y conseguir el correcto apoyo de la cabeza.
- Anchura del respaldo: 520 mm. Algo mayor que la del asiento y en función de la envergadura de los hombros.
- Distancia del asiento al suelo. Se obtiene fijando la altura del reposapiés al suelo tal que no suponga una dificultad para el paciente al bajarse de la silla: 80 mm.
- Diámetro ruedas traseras: 300 mm. Obtenido para sortear fácilmente un bordillo de una altura media.
- Dimensiones del reposabrazos: 268x230. Determinadas por el tamaño de antebrazo y pie (las cuales coinciden) y para que el brazo apoyado esté a 90°.

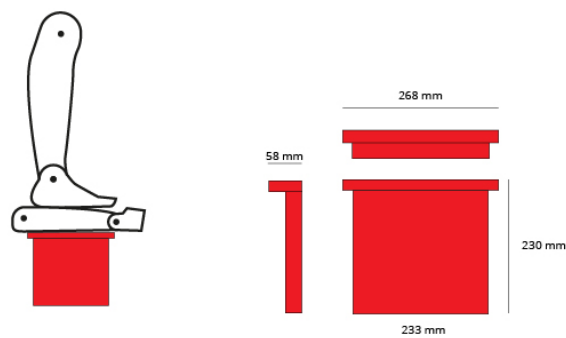


Figura 4.8 Ergonomía apoyabrazos y reposapiés

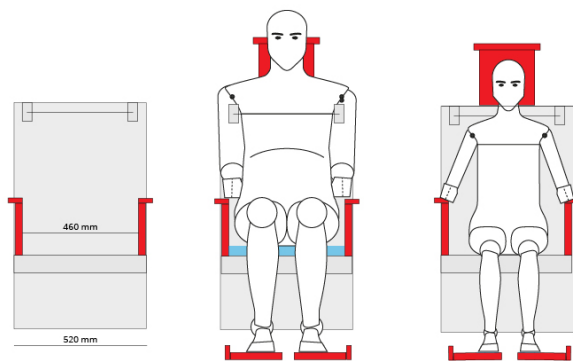


Figura 4.9 Ergonomía de la silla ()

Una vez obtenidas las medidas de ambos usuarios hay que juntarlas en un solo producto teniendo en cuenta que ambos usuarios comparten el mismo nivel de suelo. Todo este dimensionado se encuentra ampliado en el anexo 5.

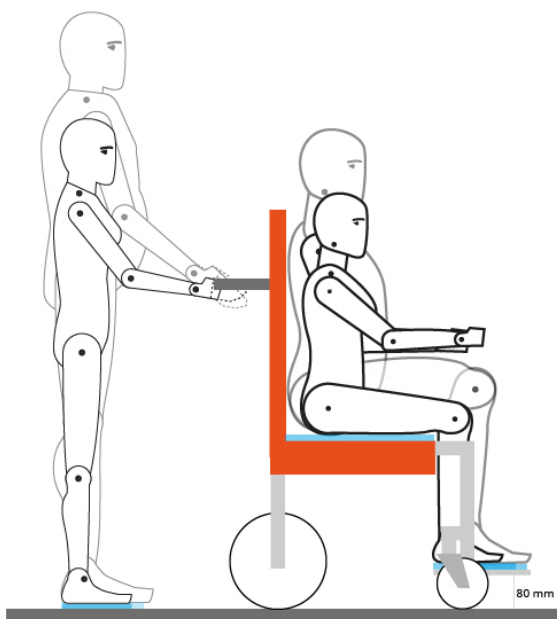


Figura 4.10 Ergonomía conjunta voluntario-paciente

Una vez hechas las comprobaciones acerca de las dimensiones generales del producto, se tomaron una serie de decisiones para comenzar a diseñar en detalle cada una de las piezas del conjunto. Los criterios fueron reducir el número de piezas de la silla, buscar que una misma pieza pueda tener más de una función, usar elementos conocidos montados en otros productos como contenedores de basura, y en definitiva buscar la simplicidad del montaje y el bajo coste del producto.

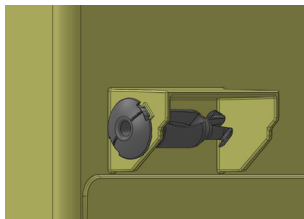
A continuación se listan las piezas definitivas (más desarrolladas en el Anexo 6) que forman parte de la silla de ruedas:

1. **Respaldo:** Va a ser una pieza única a la que se le añadirá un reposacabezas desmontable. El respaldo inyectado en plástico también comprende las patas traseras sirviendo de soporte para el eje y las ruedas.
2. **Asiento:** También inyectado en plástico es la pieza central donde desembocan la mayoría de uniones, tales como la unión por bisagra con el respaldo, clipada con los antebrazos y unido a las patas delanteras mediante una pieza adicional de plástico que permite el plegado de dichas patas.
3. **Pieza multifuncional:** Se ha llamado así a una pieza inyectada en plástico que hará la función de reposapiés (2 uds.) y adicionalmente de reposabrazos (2 uds.) y de reposacabezas (1 ud.). Tanto reposabrazos como apoyacabezas irán alojados en el respaldo cuando la silla esté desmontada y se transporte a modo de carrito. Los reposapiés irán montados desde el inicio en su posición definitiva.
4. **Ruedas traseras:** Serán compradas y estarán unidas por un tubo de acero a modo de eje, éste insertado en unos alojamientos del respaldo.
5. **Ruedas delanteras:** Se va a aprovechar el reposapiés para que estas ruedas comerciales vayan atornilladas por debajo.
6. **Manetas:** Se componen de dos piezas clipadas cuya función va a ser bloquear el plegado del asiento contra el respaldo y que a la vez supondrá dos apoyos adicionales para el asiento en su posición de desplegado.
7. **Patatas delanteras:** Será la única pieza metálica formada por un tubo soldado plegado en forma de U al que se unirán dos conjuntos de reposapiés más rueda delantera.

5. DESARROLLO DETALLADO DEL CONJUNTO

5. ÍNDICE DEL ANEXO

5.1 UNIÓN ABISAGRADA CON TAPÓN



5.2 MANETAS

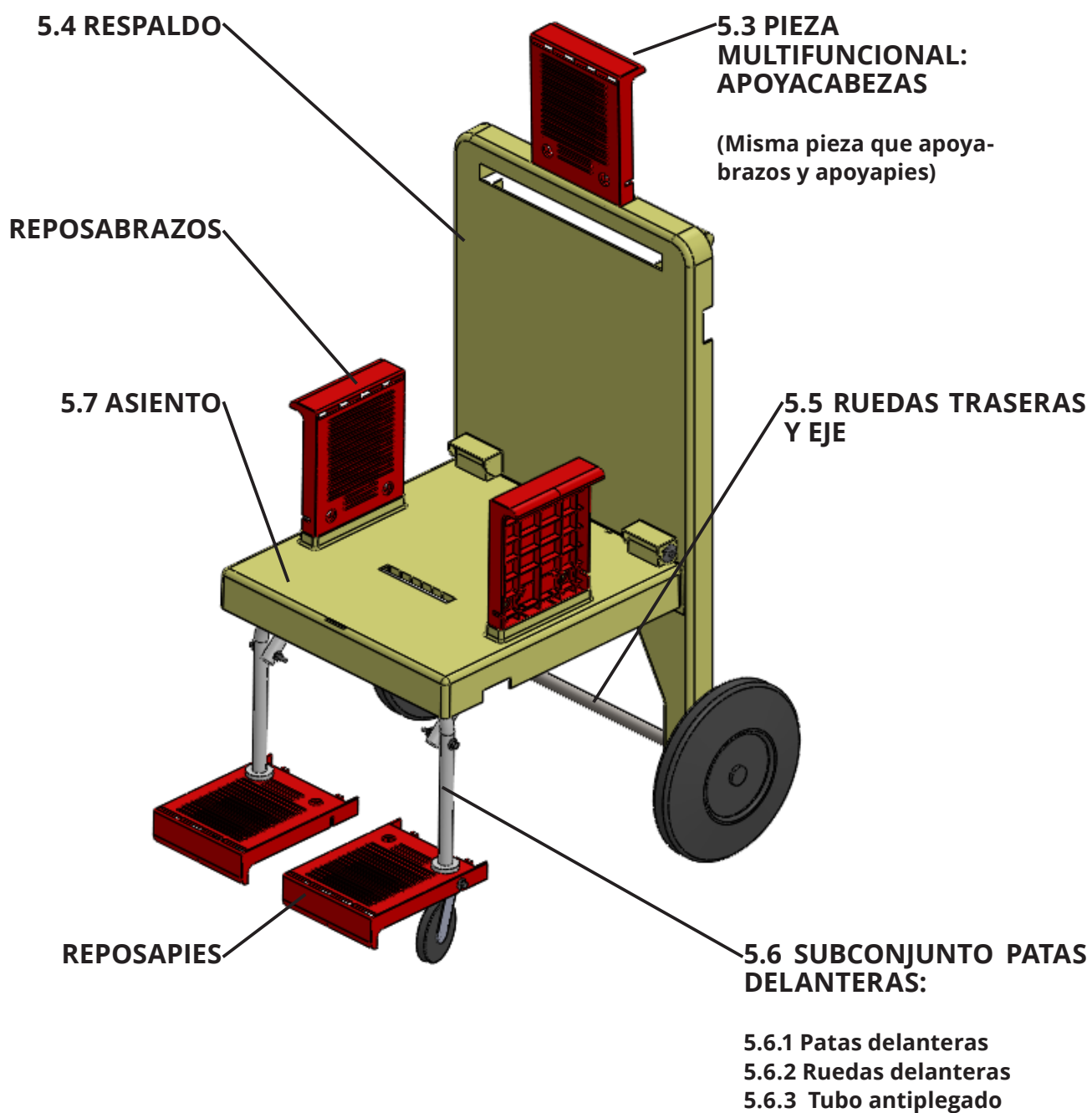
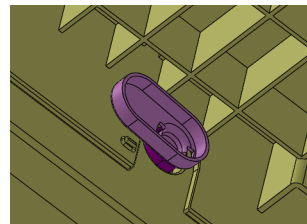


Figura 5.1 Vista general de la silla

En todas las piezas se han aplicado redondeos y ángulos de desmoldeo. Además se han realizado vaciados en las superficies principales de las piezas con el fin de salvar contra salidas de elementos implementados en numerosos casos.

Pueden consultarse las imágenes de este apartado a mayor tamaño en el anexo 6.

5.1 UNIÓN ABISAGRADA CON TAPÓN

La zona frontal del respaldo es lisa salvo por las bisagras y por un saliente diseñado para compensar el ángulo de desmoldeo de los laterales del asiento de modo que mantengan un ángulo de 90° con el respaldo.

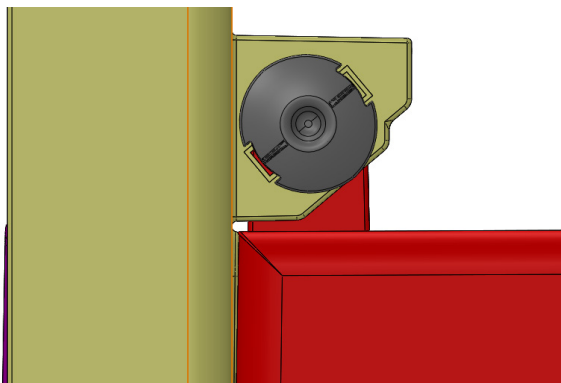


Figura 5.2 Vista del saliente con el asiento

Las bisagras se han posicionado de modo que al plegar el conjunto no haya colisión entre el asiento y el respaldo.

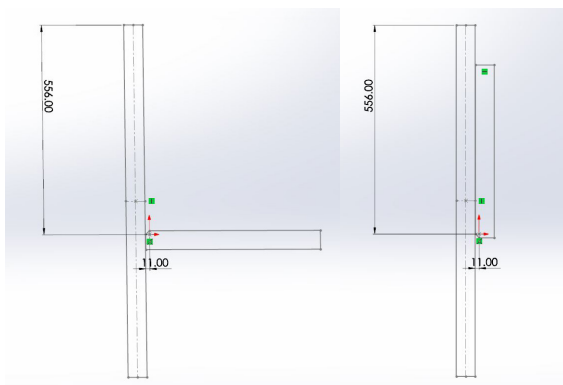


Figura 5.3 Cálculo posición bisagra

En el caso del respaldo, la parte correspondiente de la unión de bisagra se ha llamado cartela. Esta cartela es una estructura rígida de dos paredes y un

tejado que las une.

En la pared de la cartela más alejada del plano de simetría del respaldo se ha posicionado el agujero que aloja al tapón cuya función será hacer de eje entre respaldo y asiento. El agujero tiene dos recortes laterales por los que entrarán dos salientes que tiene el tapón para que una vez insertado no pueda girar. La unión queda restringida en la dirección del eje del agujero debido a los clips que posee el tapón en su parte superior.



Figura 5.4 Bisagra en el respaldo



Figura 5.5 Vista lateral del tapón

5.2 UNIÓN DE SEGURIDAD MEDIANTE MANETAS

Sobre el respaldo se han modelado dos taladros en los que se montan unas manetas compuestas por dos piezas *clipadas*. El diseño de estas manetas no ha corrido a cargo de este proyecto, es un diseño ya existente de un anterior TFG.

Estas manetas tienen como objetivo evitar que el asiento se pliegue por accidente cuando se usa la silla, además supondrán dos puntos de apoyo adicionales a las dos uniones de la bisagra.

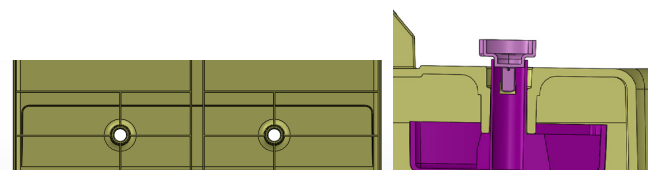


Figura 5.6 Detalle maneta para bloquear el desplegado

El asiento tiene dos recortes en la pared posterior para alojar estas manetas y también tiene un pequeño saliente que evita el giro de estas manetas una vez montado el conjunto.

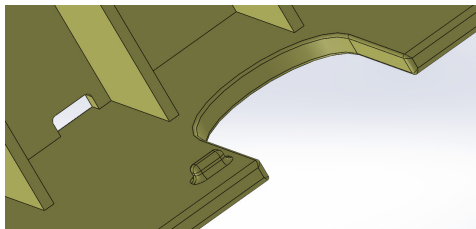
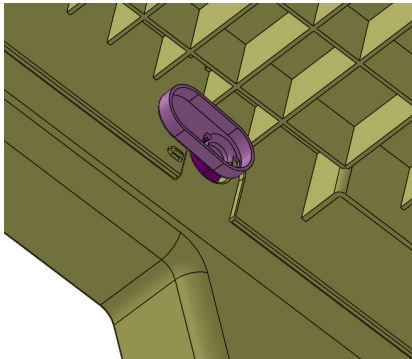


Figura 5.7 Detalle maneta bloqueo

5.3 PIEZA MULTIFUNCIONAL

Esta pieza se ha diseñado sin “mano”, es decir, que sirve tanto para derecha como para izquierda y que va hacer las funciones tanto de apoyacabeza como apoyabrazos y reposapiés.

Sus medidas son: 257 mm de largo, 195 mm de ancho y 60 mm desde su base hasta el saliente más alto. Posee dos taladros, dos pestañas, 4 clips, 8 torretas, sobre espesores que sirven de antideslizamiento y un saliente nervado que será la zona de agarre de la pieza para cuando se monte o desmonte.

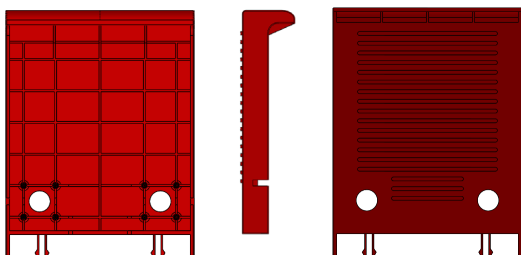


Figura 5.8 Pieza multifunción

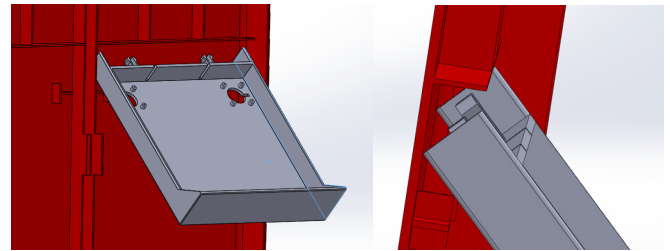


Figura 5.9 Vista general y detalle del alojamiento de la pieza multifuncional en el respaldo

Los clips y las pestañas sirven para el montaje de esta pieza sobre otras: sobre el respaldo como apoyacabezas y sobre el asiento como apoyabrazos.

Los dos taladros sirven para montar el tubo en U que hace de patas delanteras en la silla y las torretas se utilizan para el montaje de las ruedas delanteras.

Todos los montajes enumerados se ven en más detalle en los siguientes apartados.

En su desarrollo hubo que cambiar el ancho de la pieza para dejar un mayor espacio entre los dos reposapiés. Como este cambio afectaba al ancho del reposabrazos y el apoyacabezas se llegó a una anchura de compromiso de 195 mm, dejando un espacio entre ambos reposapiés de 90 mm.

Para cumplir como reposabrazos tiene un saliente de 60 mm y que así el ocupante pueda apoyar el antebrazo. Este saliente está redondeado y su extremo permite ser agarrado con la punta de los dedos para extraer la pieza del respaldo cuando va alojada en él en el modo de “silla plegada”.

La pieza es de desmoldeo directo ya que la superficie principal se ha realizado un vaciado que permite desmoldear el redondeo de la zona en la que apoya el antebrazo.

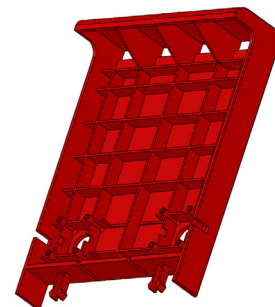


Figura 5.10 Vista general del nervado y el saliente

5.4 RESPALDO

Se trata de una pieza única que comprende lo que se suele diferenciar entre respaldo, empuñaduras y patas traseras. También lleva un asa en la parte superior que sirve para poder arrastrar el conjunto en su configuración de carrito.

Sus dimensiones sin tener en cuenta el asa ni las bisagras son 1000 mm alto por 525 mm de ancho por 50 mm profundidad, con un ángulo de desmoldeo de 1° y espesor general de 2,7 mm con nervios de 1,7 mm tras los cálculos resistentes realizados mediante FEM (ver Anexo 7).

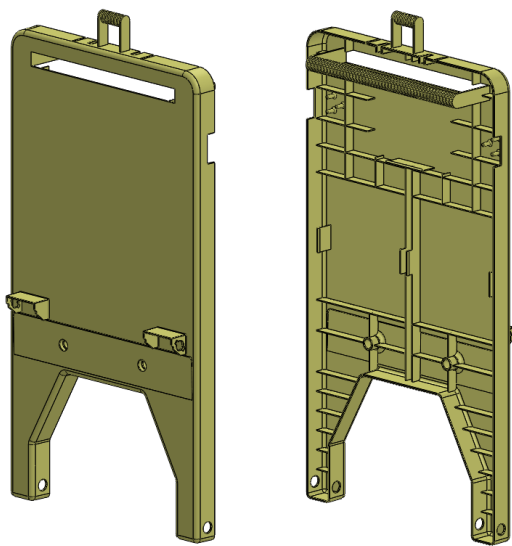


Figura 5.11 Vista delantera y trasera del respaldo

Dispone de un asidero en la parte posterior que hace la función de las empuñaduras. En un principio se pensó tener dos empuñaduras con un ángulo de 70° que es el que se considera óptimo para mantener la muñeca en una posición neutra. Se descartó esta idea debido a que complicaba el desmoldeo.

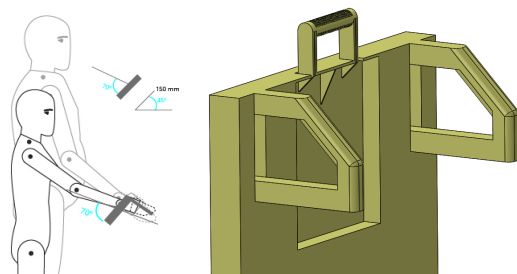


Figura 5.12 Percentiles llegando a los mangos

Este asidero está nervado a lo largo de su eje con la intención de aligerar el modelo. El criterio para el diseño del nervado ha sido que tanto el espacio entre los nervios como el espesor de los mismos y la distancia a su análogo sea la misma medida. Esto evita acumulación de material que alargaría el tiempo de fabricación.

Para solucionar la contrasalida del asidero se ha realizado un vaciado rectangular en la superficie principal del respaldo.

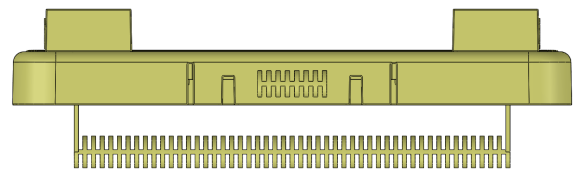


Figura 5.13 Vista del asidero

En la parte superior del respaldo se encuentra el asa cuyo criterio para ser nervada ha sido el mismo que para el asidero. Cabe destacar que esta parte cumple con dos funciones, una es la ya citada como asa del carrito y la otra es que sirve a modo de refuerzo al apoyacabezas.

Para alojar al apoyacabezas el respaldo tiene dos alojamientos para los clips y otros dos para las pestañas de la pieza multifuncional. Además los nervios laterales del asa quedarían encajados dentro del apoyo cabezas por lo tanto la configuración del montaje impide que esta pieza se separe del respaldo mientras se esté usando.

Los alojamientos para montar el apoyacabezas constituyen contra salida

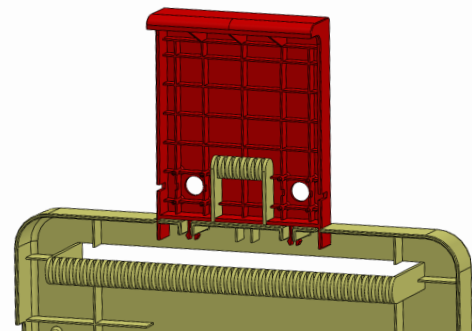


Figura 5.14 Vista del cabezal apoyado en el asa.

En la parte inferior del respaldo, que haría la función de patas traseras, se ha situado un agujero que atraviesa la pieza de modo que pueda alojar el eje trasero y además le sirva de apoyo. Este taladro constituye contra salida.

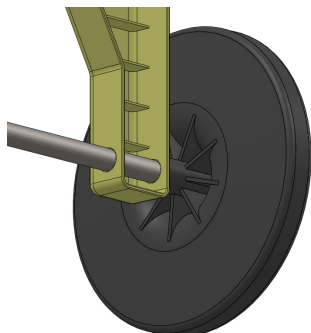
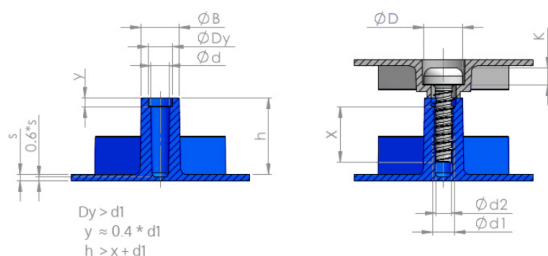


Figura 5.15 Montaje rueda trasera

Como había cierto riesgo de que en los casos más graves el ocupante necesitara estar inmovilizado de alguna forma en la silla, se ha puesto una **cincha** que va a pasar por el pecho del ocupante de manera que lo mantenga en una posición fija con respecto al respaldo. Esta cincha además servirá para mantener la silla plegada cuando se transporte a modo de carrito.

Esta cincha está unida al respaldo mediante tornillos. Para poder alojarlos en la pieza de plástico se han modelado tres torretas equidistantes en la parte posterior del respaldo. Todas las torretas diseñadas en todas las piezas han seguido el mismo criterio, sabiéndose que se fabrican en el mismo material (HDPE) y se va a usar el mismo tornillo.

Tabla de diámetro interior y exterior de la torreta respecto diámetro tornillo plástico



Material	Agujero Ø d	Externo Ø tubo B	Atornillar X
PE LD	0,76 x d1	2,00 x d1	2,00 x d1
PE HD	0,81 x d1	1,80 x d1	1,80 x d1

Figura 5.16 Criterio de diseño para torretas en HDPE

Para posicionar por donde pasa esta cincha se ha realizado un recorte en el lateral del respaldo.

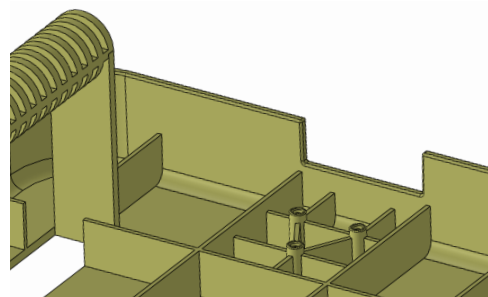


Figura 5.17 Vista de las torretas y el recorte en el respaldo

El nervado de la parte posterior del respaldo se ha diseñado dejando espacios de manera estratégica para poder alojar **tres unidades** de la pieza multifuncional, el apoyacabezas y los dos reposabrazos, cuando la silla está plegada. En el nervado se han implementado unos clips que mantienen la pieza funcional alojada en el respaldo. Estos clips no constituyen contra salida debido al vaciado en la superficie principal del respaldo que permite moldear la cabeza del clip.

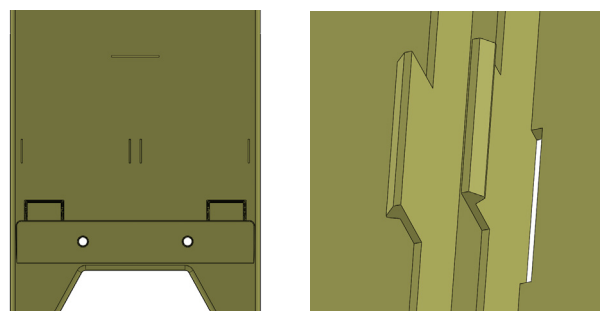


Figura 5.18 Clips en los alojamientos de la pieza multifuncional en el respaldo

Indicar en este punto, que la tercera contra salida de esta pieza la constituye el taladro en el que se inserta el tapón de la bisagra.

5.5 RUEDAS TRASERAS Y EJE

El eje se trata de un tubo comercial soldado de acero de 22 mm de diámetro con 1,5 mm de espesor (mismas dimensiones en los otros tubos utilizados). Su longitud es de 640 mm.

A este eje se le insertan por presión dos ruedas inyectadas en plástico que también serán compradas a una empresa.

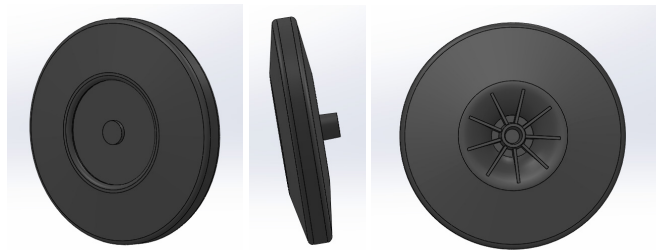


Figura 5.19 Vistas de la rueda trasera

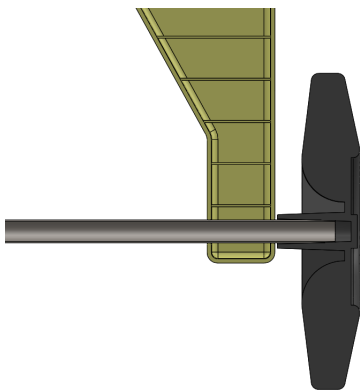


Figura 5.20 Unión eje con rueda trasera

5.6 SUBCONJUNTO PATAS DELANTERAS

Este subconjunto está formado por un tubo en U haciendo de patas delanteras las cuales están unidas a otro tubo en U que actúa como sistema antiplegado.

5.6.1 PATAS DELANTERAS

Formadas por el mismo tubo que el eje trasero pero esta vez se ha doblado haciendo una U de modo que se puede diferenciar entre dos partes verticales y una horizontal que será el punto de apoyo y rotación con respecto al asiento.

Lo determinante en esta pieza fue diseñar la manera en la que iba a unirse a los reposapiés y las ruedas delanteras. Se plantearon varias opciones entre ellas la de soldarle una arandela, para que hiciera tope con el reposapiés al insertarse en él, y una pletina taladrada de modo que una vez se pasara un tornillo-tuerca por ella el reposapiés ya no pudiera sacarse en ninguna de las dos direcciones formando así un sistema de unión fijo desmontable bastante sencillo. La pletina también hacía la función de restringir el giro del reposapiés con respecto al tubo.

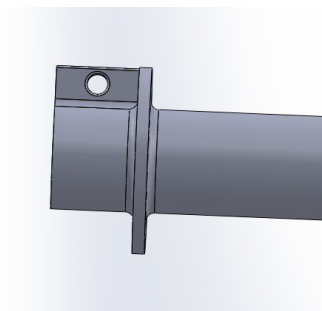


Figura 5.21 Detalle de primera propuesta para ensamblaje de patas con rueda delantera

La otra opción era conservando la arandela pero realizando un corte tanto en ella como en el extremo del tubo.

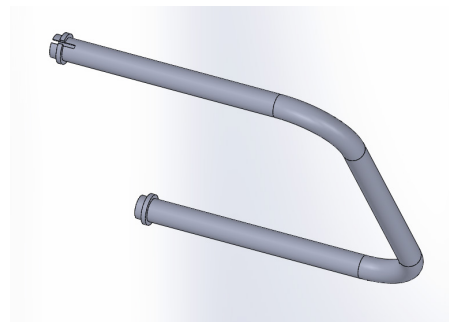


Figura 5.22 Vista general patas delanteras

Finalmente se desecharon estas ideas bien por que no aseguraban una buena unión o bien por que tenían un proceso de fabricación complicado (soldar una pletina a un cilindro y a la vez a una arandela).

El sistema que se ha escogido consiste en taladrar el extremo del tubo a una altura de 15 mm y colocar por encima una arandela de diámetro interior 22 mm y diámetro exterior 37 mm con 8 mm de espesor. Es una arandela galvanizada en caliente (revestimiento necesario para evitar la oxidación y corrosión por la humedad).

De este modo la arandela hace de tope superior al reposapiés mientras que por debajo hay un tornillo-tuerca que pasa por el agujero (5 mm de diámetro) impidiendo así tanto el desplazamiento vertical del tubo como el giro. Este conjunto de tornillo-tuerca sobresale por el exterior del reposapiés para facilitar el montaje y desmontaje.

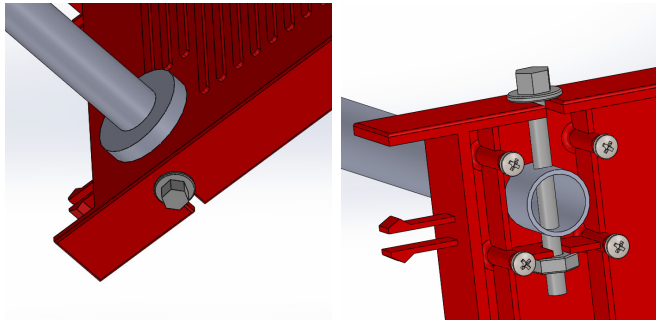


Figura 5.23 Detalle montaje definitivo reposapiés en pata delantera

En la parte superior del tubo se aloja otro tornillo-tuerca que fija en posición pero no en giro una pletina redondeada. La pletina forma parte del sistema de bloqueo del giro de las patas delanteras mediante su inserción en unos salientes que tiene el asiento en la cara interna de su pared frontal. En el apartado 5.7 de descripción del asiento se explica con más detalle su funcionamiento.

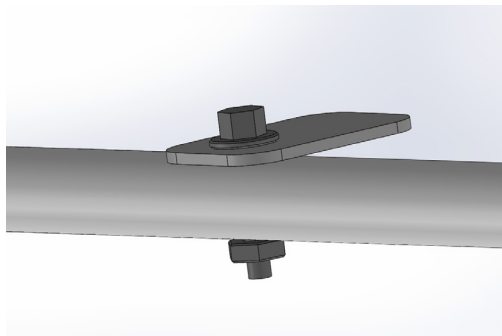


Figura 5.24 Pletina de bloqueo en patas delanteras

5.6.2 RUEDAS DELANTERAS

Las ruedas delanteras también son comerciales como las traseras. Estas pueden girar con respecto a su eje perpendicular al suelo, están atornilladas al reposapiés en las cuatro torretas que este posee alrededor del taladro para alojar el tubo en U.

Las cuatro torretas restantes en el reposapiés no

se usan ya que han sido implementadas para que la pieza no tenga "mano".

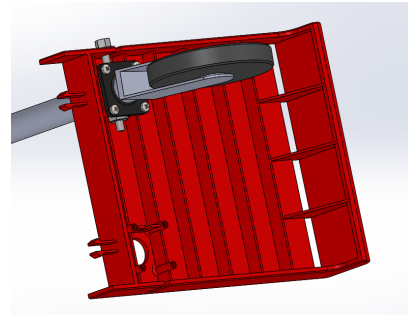


Figura 5.25 Montaje rueda delantera en reposapiés

5.6.3 TUBO DE ANTIPLEGADO

Se trata del mismo tubo que forma las patas delanteras pero con menor longitud ya que al doblarse debe entrar entre las patas delanteras. Ambos tubos están unidos mediante tornillo-tuerca.

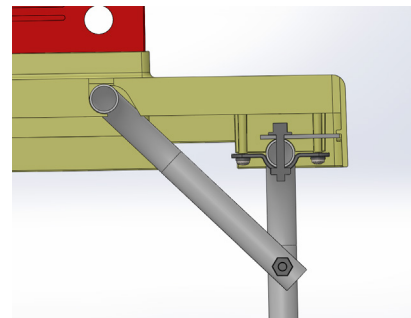


Figura 5.26 Detalle tubo antiplegado

El tubo de antiplegado se inserta en el propio asiento de modo que impide que las patas delanteras puedan girar en ese sentido en caso de que la silla tropiece con algún obstáculo cuando se está empujando. Esta unión se explica más detalladamente en el apartado del asiento.

5.7 ASIENTO

Junto al respaldo es una de las piezas más importantes. También está inyectada en plástico.

Sus medidas son: 524 mm de longitud, 450 mm de anchura y 70 mm de grosor con un espesor de 2,7 mm, el nervado de 1,5 mm (tras la optimización del material) y ángulo de desmoldeo de 1°.

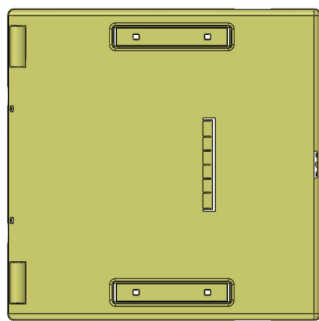


Figura 5.27 Vista en planta del asiento

Es el elemento central de la silla de ruedas y se une con el respaldo, las patas delanteras y los reposabrazos.

La unión con el respaldo se produce mediante un sistema de bisagra visto en apartado 5.1. En el caso del asiento tiene dos salientes con agujeros laterales donde irá alojado el tapón.

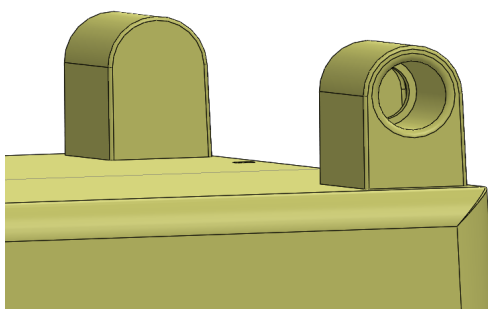
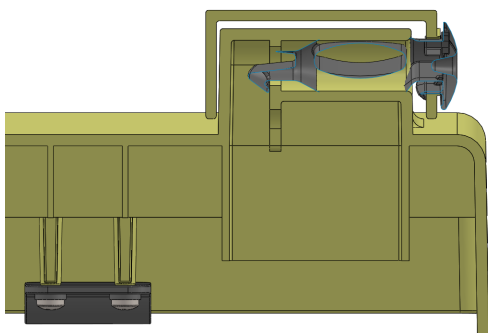


Figura 5.28 Detalle de la bisagra

Este diseño de bisagra constituye la primera y única contra salida de la pieza.

Como se ha visto en el apartado 5.2 existen dos puntos más de unión con el respaldo, adicionales a las bisagras que sirven de apoyos intermedios en el asiento gracias a las manetas.

Para alojar el reposabrazos tiene unas paredes que sobresalen cerca de los laterales que impiden que este se pueda salir debido a golpes además de que le aporta más rigidez. El reposabrazos se une al asiento mediante clipado y unas pestañas laterales que ayudan a posicionar una pieza con respecto a la otra.

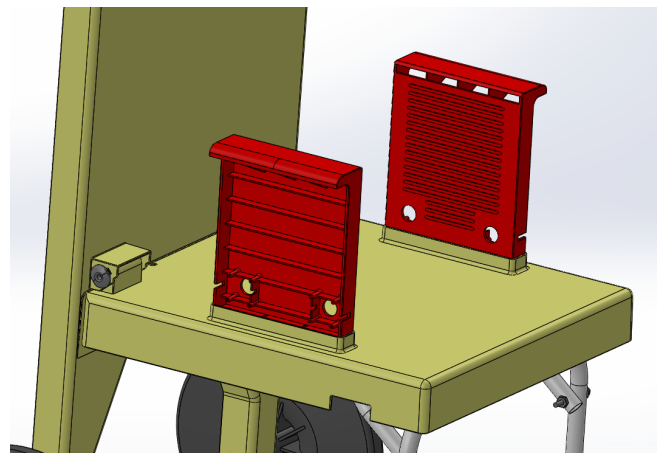


Figura 5.29 montaje reposabrazos sobre el asiento

Las medidas de esta unión tuvieron que ser modificadas dado que al montar los reposapiés, que es la misma pieza que el reposabrazos, se vio que no había suficiente espacio entre ambas piezas para permitir que el pie del ocupante pasara entre medio cuando este se fuera a bajar de la silla.

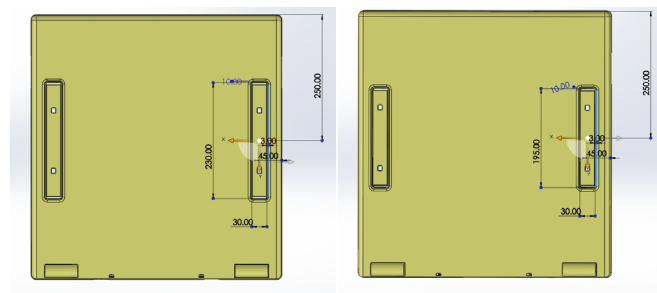


Figura 5.30 Variación de tamaño en el alojamiento del reposabrazos

El asiento tiene en su parte inferior dos conjuntos de cuatro torretas unidas por dos nervios con un recorte circular en el medio, de modo que se pueda apoyar y girar la parte horizontal de las patas traseras. La altura que tiene este conjunto de torretas viene determinada como la mínima altura necesaria para que al plegar completamente las patas delanteras estas no se choque con los nervios del asiento.

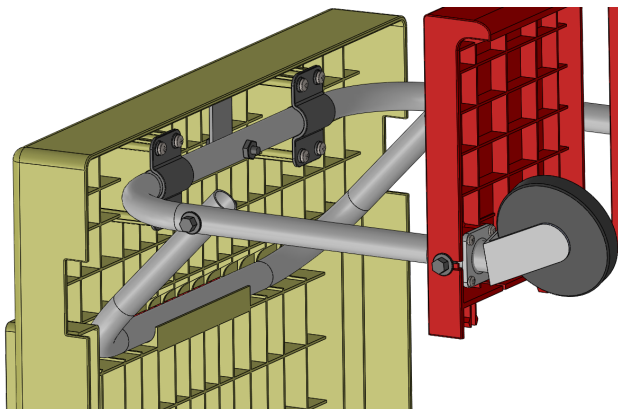


Figura 5.31 Conjunto patas delanteras montadas sobre el asiento

En la sujeción del tubo de antiplegado se ha realizado un nervado con el redondeo necesario para coincidir con el diámetro del tubo y una cartela superior que evitara que una vez insertado el tubo este pueda salirse.

Para que esta cartela sea fabricada por inyección y por lo tanto poder desmoldearse se ha realizado un vaciado rectangular en la parte superior del asiento.

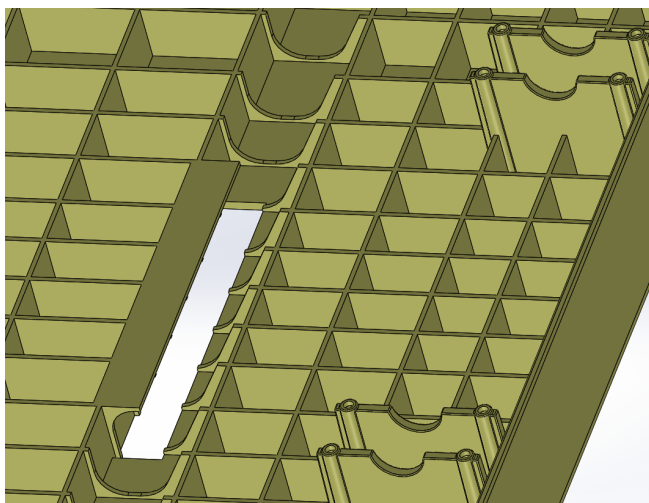


Figura 5.32 Detalle del alojamiento para el tubo antiplegado

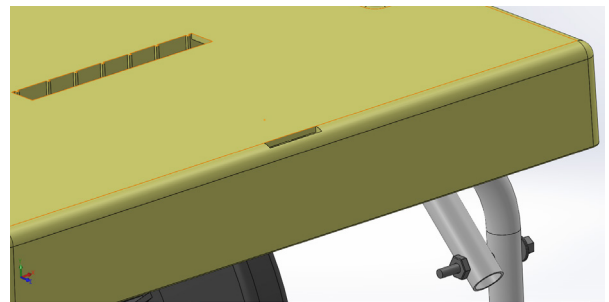


Figura 5.33 Articulación entre patas delanteras y tubo antiplegado

Por último, el asiento tiene unos pequeños salientes para fijar la pletina (220x10x5 mm) que va atornillada a las patas delanteras y que bloquea el plegado de dichas patas.

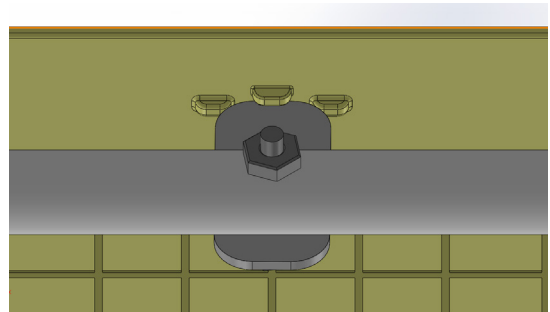


Figura 5.34 Detalle chapa antiplegado

El nervado del asiento está formado por líneas perpendiculares entre sí y que se adaptan a las diferentes geometrías que hay en la zona inferior de esta pieza.

Tanto en la zona correspondiente a la bisagra como en la de los reposabrazos se han colocado unas paredes donde acaban los nervios.

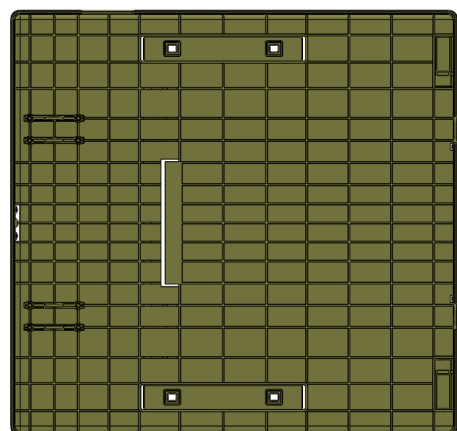


Figura 5.35 Nervado del asiento

6. SELECCIÓN DEL MATERIAL

Una vez sabido el número de piezas y sus medidas es necesario determinar el material que se va a utilizar.

6.1 PIEZAS METÁLICAS

En el caso del conjunto de las patas delanteras se ha escogido un tubo soldado de acero estructural de HIESCOSA S355J con **módulo de elasticidad 210.000 MPa** y **límite elástico de 350 Mpa** (Hierros especiales comercializados, S.A). Este tubo llevará soldado una arandela de acero estructural de diámetro interno 22 mm y externo 44 mm con espesor de 8 mm (pág 241 catálogo WASI [10]).

6.2 PIEZAS DE PLÁSTICO

El proyecto se fundamenta en producir una silla de ruedas asequible económicamente y que sea funcional en cuanto a resistencia y rigidez.

Se ha realizado una tabla de valor en la que se han descartado de entrada materiales de comportamiento frágil. Se han puntuado las prestaciones de materiales genéricos de comportamiento tenaz, y se ha valorado de especial manera el precio y densidad de los mismos. Así, y para que el material elegido no tenga propiedades sobredimensionadas, cumpla requisitos y su coste sea económico, se decide fabricar las piezas principales de la silla con HDPE (ver tabla).

	LDPE	HDPE	PP	PA	ABS
Resistencia Tracción [MPa]	20 (0)	30 (2)	35 (2)	78 (0)	44 (3)
Rigidez [MPa]	300 (no cumple)	1000 (1)	1150 (2)	2600 (0)	2200 (0)
Impacto [J/m ²]		210 (2)	100 (1)	250 (2)	400 (0)
Rango de temperaturas [°C]		-100/80 (2)	0/100 (no cumple)	-40/90 (2)	-45/85 (2)
HDT [°C]		46 (1)		80 (2)	89 (2)
Precio[€/Kg]		1,25 (3)		2,4 (1)	1,6 (2)
Densidad [g/cm ³]		1,1 (3)		1,4 (1)	1,2 (1)
TOTAL		14		8	10

Tabla 6.1 Valoración propiedades materiales. Entre paréntesis puntuación asignada.

7. CÁLCULO TEÓRICO DEL CLIPADO DE PIEZA MULTIFUNCIONAL

7.1 CÁLCULO TEÓRICO DEL CLIPADO DE LA PIEZA MULTIFUNCIONAL

Esta pieza multifuncional se pretende fabricar por inyección en Polietileno de alta densidad (HDPE).

Se han calculado de manera teórica las dimensiones de los clips que tiene la pieza multifuncional de modo que la fuerza necesaria para montar esta pieza en el asiento como reposabrazos y en el respaldo como apoyacabezas sea de 30 N (3Kg) y la de desmontaje 40 N (4 kg). Es decir, que dado que hay 4 clips cada uno estará sometido a 7.4 N en el montaje y a 10 N en el desmontaje.

Las fuerzas que actúan en la inserción del clip son las mostradas en las siguientes imágenes (para el desmontaje son las mismas fuerzas pero en la cara opuesta) siendo F_e la fuerza de ensamblaje:

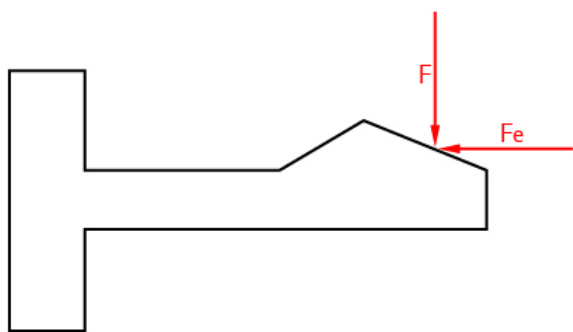


Figura 7.1 Fuerza vertical y fuerza de ensamblaje

La fuerza normal forma un ángulo con respecto al eje vertical correspondiente al ángulo de inserción (es la inclinación de la cara que se inserta):

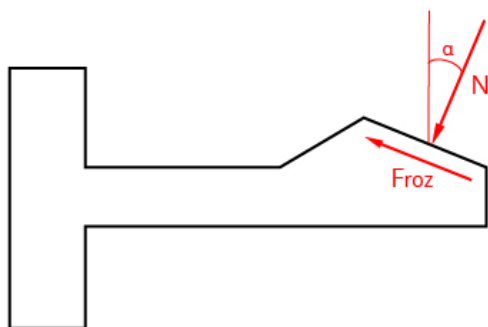


Figura 7.2 Fuerza normal y fuerza de rozamiento

Las fórmulas necesarias para la obtención de los parámetros que se han calculado son:

$F = (3 \cdot E \cdot I \cdot H) / L^3$	Fuerza que actúa sobre la cabeza del clip.
$I = (1/12) \cdot b \cdot h^3$	Inercia de la sección rectangular del clip, en función de altura y anchura.
$H = F \cdot L^3 / 3 \cdot E \cdot I$	Altura de la cabeza del clip
$F_e = F \cdot (\mu + \operatorname{tg} \alpha) / (1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha)$	Fuerza de ensamblaje, depende de la fuerza sobre el clip y de un factor constante en función del coeficiente de rozamiento entre el clip y el alojamiento (HDPE = 0,25) y el ángulo de la cabeza del clip.

Tabla 7.1 Fórmulas para el cálculo teórico del clip

7. CÁLCULO TEÓRICO DEL CLIPADO DE LA PIEZA MULTIFUNCIONAL

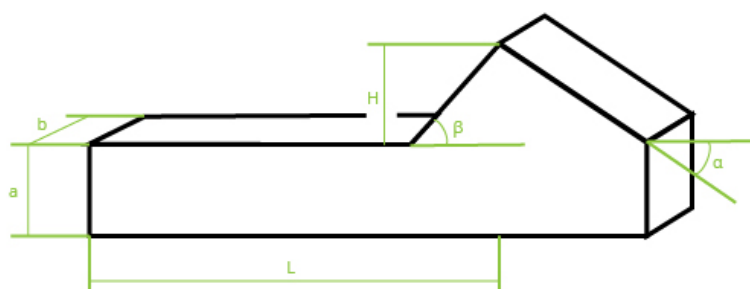


Figura 7.3 Parámetros de diseño de un clip

Al tratarse de un ejercicio de diseño, se van realizando barridos de casos en los que se va variando un parámetro dejando los otros constantes, y se van fijando como definitivos poco a poco en función de los resultados de tensión (sin superar 30 Mpa del límite del material) y de las fuerzas de ensamblaje y extracción.

L (mm)	H (mm)	h (mm)	b (mm)	I (mm ⁴)	F (N)	M (N.mm)	σ (Mpa)	F. Ensamblaje según ángulo (N)		F. Desensam- blaje según ángulo (N)	
								25°	30°	35°	45°
3.00	1.50	1.50	8.00	2.25	318.75	956.25	318.75	258.45	308.20	367.15	531.25
6.00	1.50	1.50	8.00	2.25	39.84	239.06	79.69	32.31	38.53	45.89	66.41
9.00	1.50	1.50	8.00	2.25	11.81	106.25	35.42	9.57	11.41	13.60	19.68
12.00	1.50	1.50	8.00	2.25	4.98	59.77	19.92	4.04	4.82	5.74	8.30
15.00	1.50	1.50	8.00	2.25	2.55	38.25	12.75	2.07	2.47	2.94	4.25
3.00	2.00	1.50	8.00	2.25	425.00	1275.00	425.00	344.60	410.94	489.53	708.34
6.00	2.00	1.50	8.00	2.25	53.13	318.75	106.25	43.08	51.37	61.19	88.54
9.00	2.00	1.50	8.00	2.25	15.74	141.67	47.22	12.76	15.22	18.13	26.23
12.00	2.00	1.50	8.00	2.25	6.64	79.69	26.56	5.38	6.42	7.65	11.07
15.00	2.00	1.50	8.00	2.25	3.40	51.00	17.00	2.76	3.29	3.92	5.67
3.00	2.50	1.50	8.00	2.25	531.25	1593.75	531.25	430.76	513.67	611.9	885.4
6.00	2.50	1.50	8.00	2.25	66.41	398.44	132.81	53.84	64.21	76.5	110.7
9.00	2.50	1.50	8.00	2.25	19.68	177.08	59.03	15.95	19.02	22.7	32.8
12.00	2.50	1.50	8.00	2.25	8.30	99.61	33.20	6.73	8.03	9.6	13.8
15.00	2.50	1.50	8.00	2.25	4.25	63.75	21.25	3.45	4.11	4.9	7.1
Ajuste long. y espesor: se prueba con un barrido entre 1.5 y 2, ajustando finalmente a h=1.8 mm, y L= a 15.5 mm											
15.50	2.50	1.80	8.00	3.89	6.66	103.17	23.88	5.40	6.44	7.7	11.1

Tabla 7.1 Cálculo de los parámetros de diseño del clip para la pieza multifuncional

8. ENSAYOS RESISTENTES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

8.1 ENSAYO DEL ASIENTO

Para la simulación del asiento lo primero se define el material, en este caso se trata de HDPE con estas características obtenidas del catálogo de DOW [11]: Modulo de elasticidad $E = 850 \text{ MPa}$ y un coeficiente de Poisson de 0,41.

A lo largo de este capítulo se mostrarán las imágenes de resultados más significativas, pudiéndose consultar estas y otras más a mayor tamaño en el anexo 7.

8.1.1 INDIVIDUO SENTADO

El asiento estará restringido en los puntos de unión del asiento con el respaldo y en la zona de apoyo sobre las patas delanteras, tal que en bisagras se restringen los desplazamientos en las tres direcciones, mientras que en manetas y apoyo de patas en la dirección perpendicular al suelo.

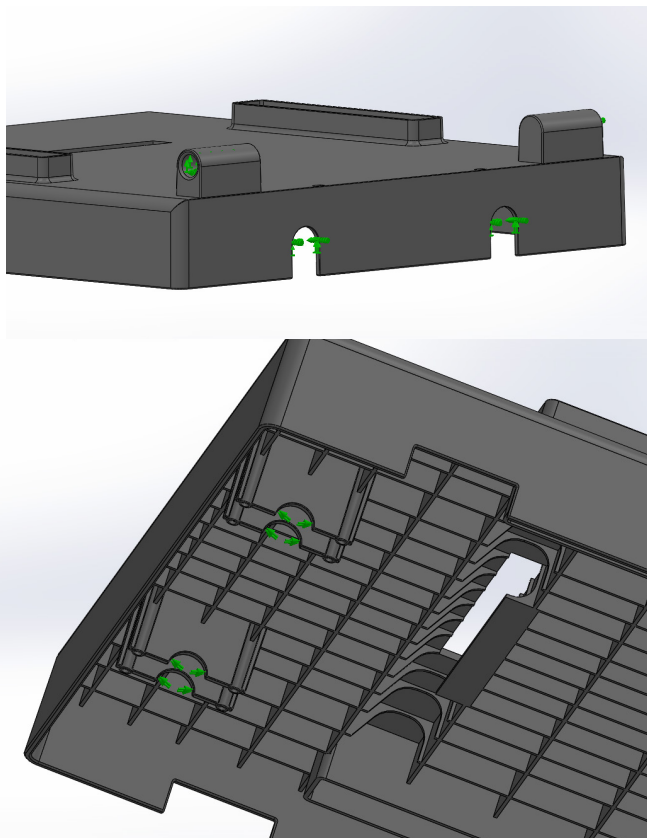


Figura 8.1 Restricciones en el asiento

Se va a simular que una persona de 100 Kg (1000 N) se sienta ocupando todo el asiento (distribuyéndose la carga uniformemente en la cara superior)

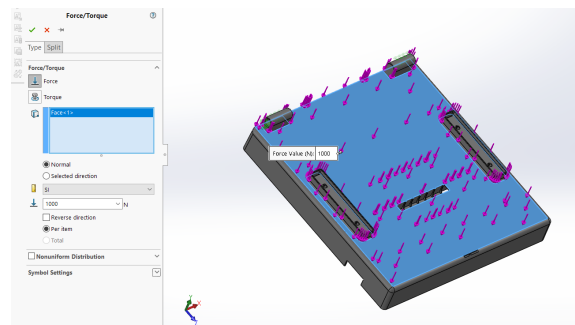


Figura 8.2 Cargas en el asiento

El mallado de la pieza se ha realizado de manera adaptativa debido al gran contraste entre zonas planas, redondeos, esquinas...

En esta tabla se resumen los resultados de los ensayos realizados en la pieza tras reducir su espesor general así como el de los nervios.

	1º Ensayo	2º Ensayo	3º Ensayo
Espesor general	4 mm	3 mm	2,7 mm
Espesor nervios	2 mm	1,5 mm	1,4 mm
Desplazamiento máx.	3,5	5,3	5,8
Supera límite elástico (valor máximo)	NO (Máx= 19 Mpa)	NO (Máx= 27 Mpa)	NO. Máx= (29 Mpa) (Sufre en los nervios de apoyadura del sistema anti-plegado)
Reducción de masa	Peso inicial 2.34 Kg.	0.57 Kg	0.15 Kg Peso final 1.62

Tabla 8.1 Resumen de resultados de los casos

En el último ensayo el material resiste la fuerza aunque sufre en los nervios de apoyo del sistema de anti-plegado. Los desplazamientos máximos son de **5,8 mm**. Se ha decidido no bajar los espesores más porque habría que comprobar el proceso de fabricación para saber si una pieza de este tamaño sería

inyectable con nervios de este espesor.

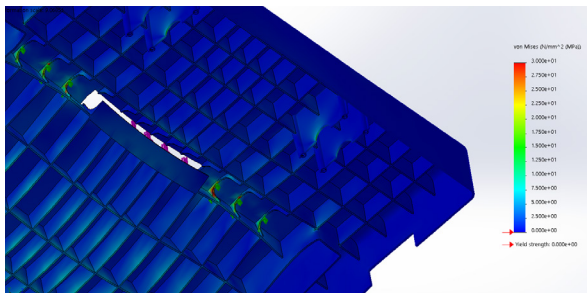


Figura 8.3 Tensiones en la zona de apoyo anti-plegado

Nota: Los nervios conservan una proporción de 0,5 el espesor principal para que no dejen rechupes.

8.1.2 ENSAYO DE CHOQUE FRONTAL EN LAS PATAS DELANTERAS

Con este ensayo se quiere comprobar si el asiento podría resistir un golpe frontal en las ruedas delanteras, por ejemplo, al tropezar con un bordillo.

A diferencia del caso anterior en el que se ensayaba una pieza de manera aislada, en este caso se ensaya un ensamblaje de asiento y patas delanteras plegables, en el se han generado contactos en los que se asegura la no penetración de una pieza sobre otra pero sí se permite el movimiento relativo entre ellas.

Esto es, que el mallado no se realiza de manera que las piezas sean solidarias entre sí.

Se ha estimado una carga de golpeo equivalente a la del peso del individuo ensayada anteriormente: 100kg aplicados sobre el extremo final de las patas metálicas.

Se han analizado dos situaciones, que el choque se produce con la silla vacía y que el choque se produce con un paciente sentado. En este segundo caso habrá que aplicar una carga adicional de 100 Kg sobre el asiento.

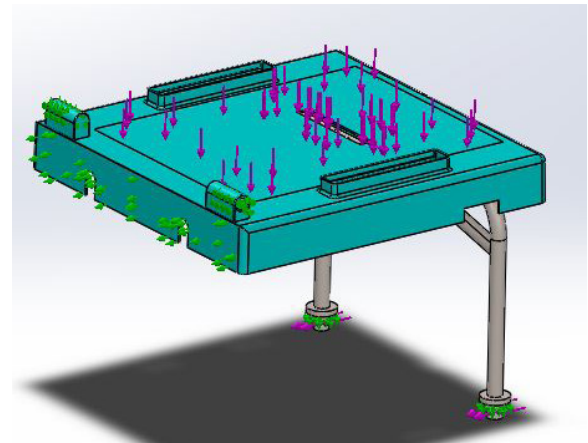


Figura 8.4 Cargas y restricciones para el caso de choque con individuo sobre la silla

En cuanto a las restricciones se sujetaron las bisagras, se apoyó la superficie vertical en contacto con el respaldo limitando su movimiento en la dirección perpendicular al mismo, y se limitó el desplazamiento vertical en los extremos de las patas.

Se muestran a continuación las imágenes de tensiones escaladas a 30 MPa para evaluar la resistencia del asiento, y escaladas a 350 MPa con el fin de evaluar el comportamiento de las patas metálicas.

En primer lugar, el caso del ensayo sin el individuo sobre la silla:

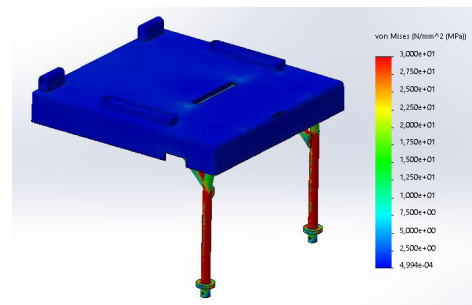


Figura 8.5 Tensiones escaladas a 30 MPa (sin ocupante)

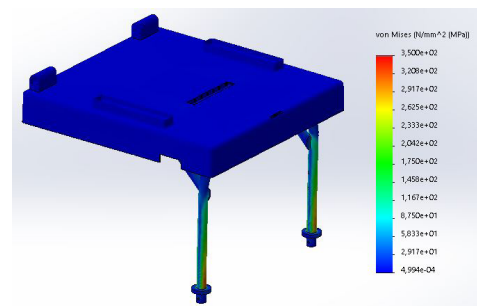


Figura 8.6 Tensiones escaladas a 350 MPa (sin ocupante)

En segundo lugar el caso ensayado con ocupante en la silla:

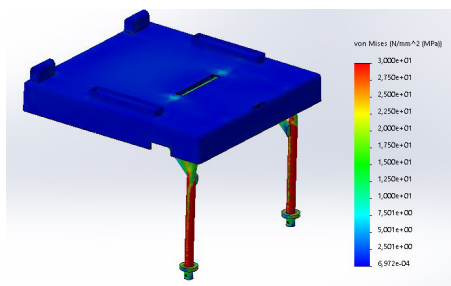


Figura 8.7 Tensiones escaladas a 30 MPa (con ocupante)

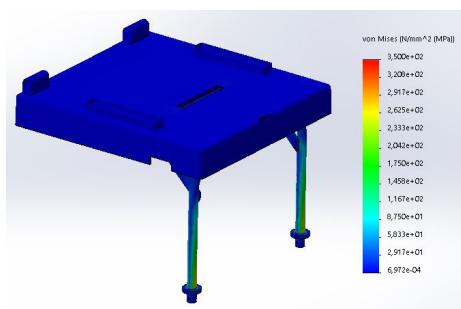


Figura 8.8 Tensiones escaladas a 350 MPa (con ocupante)

Como se observa en las imágenes anteriores, no se supera el límite del material en ninguno de los ensayos, por lo que se puede concluir que la silla soportaría este choque accidental.

En cuanto a los desplazamientos, se alcanzan los máximos en los extremos de las patas delanteras con 6 y 4 mm respectivamente en los casos de silla vacía y silla ocupada. Se pueden ver dichos resultados en las siguientes imágenes.

Obsérvese que los desplazamientos en los extremos de las patas, son debidos a que la flexibilidad del asiento les permiten girar con respecto a su amarre con dicho asiento, y no tanto a la deformación del acero.

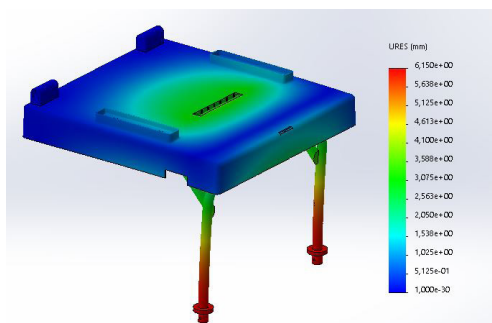


Figura 8.9 Desplazamientos (sin ocupante)

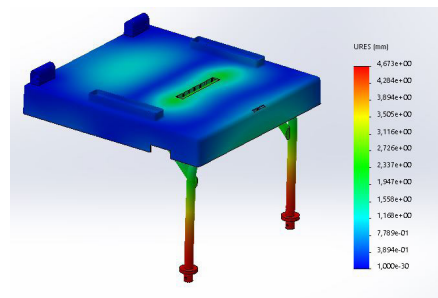


Figura 8.10 Desplazamientos (con ocupante)

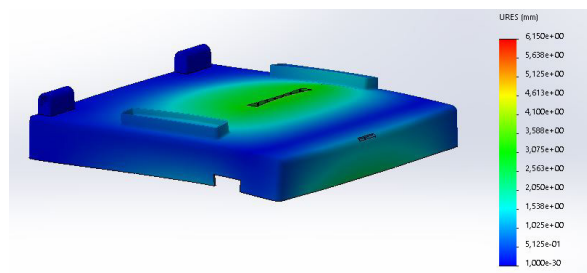


Figura 8.11 Deformada con factor de escala 10

8.2 ENSAYO DEL RESPALDO

Para la realización del ensayo del respaldo, se han traspasado a la pieza como tal las reacciones obtenidas en el ensayo del asiento.

Se han obteniendo las reacciones en los empotramientos y puntos de contactos del análisis que se realizó al asiento para después pasarlas por acción reacción a los puntos de contacto entre el respaldo y el asiento. Son las que se detallan en la tabla:

	direc. x	direc. y	direc. z
Bisagra 1	229 N	148 N	147 N
Bisagra 2	229 N	148 N	-147 N
Maneta 1	-229 N	152 N	-12.3 N
Maneta 2	-229 N	152 N	12.3 N

Tabla 8.2 Reacciones en las uniones de asiento y respaldo.

Las restricciones impuestas en el respaldo serán: el alojamiento para el eje está apoyado de modo que se restringe su desplazamiento en las direcciones Y y Z, y el asidero se restringe su desplazamiento en las direcciones X e Y (ver figura 8.12). Dado que se ha analizado medio modelo, se ha impuesto también restricción de simetría.

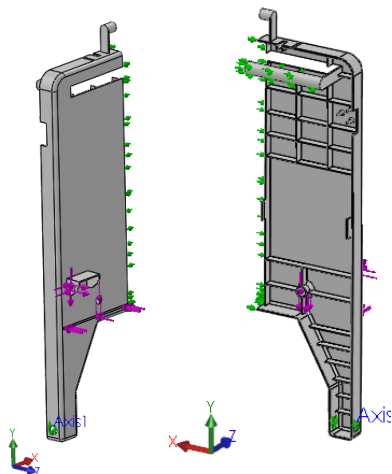


Figura 8.12 Restricciones en el respaldo

Se analizan dos casos como se muestran en la tabla siguiente con sus correspondientes resultados.

Resultados en imágenes en el anexo 7.

	1º Ensayo	2º Ensayo
Espesor general	4 mm	2,7 mm
Espesor nervios	2 mm	1,4 mm
Desplazamiento máx.	6.9	8
Supera límite elástico (valor máximo)	NO (Máx= 16 Mpa)	NO (Máx= 27 Mpa)
Reducción de masa	Peso inicial 2.55 Kg	0.59 Kg Peso final 1.96 Kg

Tabla 8.3 Resumen de resultados de los casos

Para un espesor de 2,7 mm que se ha fijado como mínimo a falta de que se pudiera realizar un ensayo de simulación de inyección (misma situación con asiento) se ha obtenido un desplazamiento máximo de 8 mm que se considera coherente con la correcta funcionalidad de la pieza y unas tensiones máximas de 27 MPa.

8.3 CÁLCULOS TEÓRICOS DEL TAPÓN Y MANETA

Estos dos elementos de unión, ambos de HDPE y que vienen diseñados de TFG's anteriores para otro tipo de producto, deben soportar los esfuerzos en los puntos de contacto entre el respaldo y el asiento. Estas fuerzas se obtuvieron como se indica en el apartado anterior mediante la lectura de los resultados correspondientes a las reacciones que llegan a los apoyos.

No se realizaron ensayos FEM dado que el esfuerzo más significativo que iban a sufrir era a cortante y se podían realizar los cálculos a mano. Para comprobar si resistían el esfuerzo se aplicó la teoría del cortante máximo la cuál determina que el cortante máximo que soporta una pieza es la mitad de su límite elástico obtenido de un ensayo a tracción:

$$\tau_{\text{máx}} = 1/2 \sigma_{\text{lím}}$$

Comenzando con el tapón, este se encarga de unir respaldo y asiento de modo que pueda girar entre ellos. Aunque existe cierta holgura entre la cartela del respaldo y la bisagra del asiento ésta es muy pequeña y podemos extrapolar el caso a un modelo teórico igual al de un remache uniendo dos placas sometidas a fuerzas de sentido contrario.

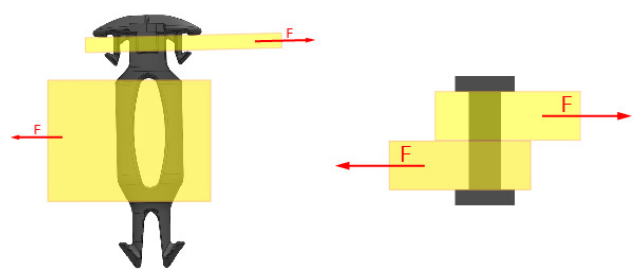


Figura 8.13 Trabajo a cortante del tapón

El cortante actuaría sobre la zona maciza del tapón cuyo diámetro es 20 mm, por lo tanto el área de esta sección sería de 314 mm².

Las fuerzas que actúan en la sección son 197 N en el eje Y (eje vertical del conjunto) y 26 N en el eje Z. El cálculo de la resultante da 198,7 N y por lo tanto el cortante será:

$$\tau_{zy} = 198,7 \text{ N} / 314 \text{ mm}^2 = 0,63 \text{ Mpa}$$

Dado que el límite elástico del HDPE es de **30 MPa**, el cortante máximo que puede soportar la pieza es muy superior al obtenido y por lo tanto la pieza aguanta este esfuerzo.

$$\tau_{\text{máx}} = 30 \text{ Mpa} / 2 = 15 \text{ Mpa} > 0,63 \text{ Mpa}$$

En lo que a la maneta se refiere se ha calculado el cortante teniendo en cuenta que cuando el asiento se somete al peso de 100 Kg se deforma de modo que desaparece la holgura de **2 mm** entre éste y la maneta quedando perfectamente en contacto.

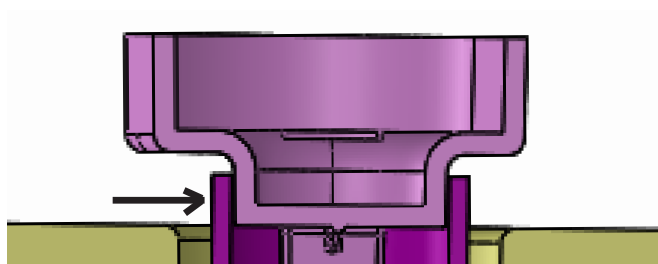


Figura 8.14 Sección de la maneta

Al tratarse de una pieza compuesta por dos tubos, uno insertado dentro del otro, se han supuesto dos posibles situaciones. En la primera el cortante actúa en la sección maciza del conjunto y en la segunda situación el cortante actúa en la sección hueca.

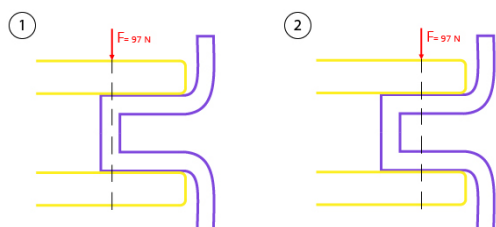


Figura 8.15 Trabajo a cortante de la maneta

En el primer caso, siendo la fuerza de 97 N y el área de **240,4 mm²** ($\phi=17,5 \text{ mm}$):

$$\tau_1 = 97 \text{ N} / 240,4 \text{ mm}^2 = 0,4 \text{ Mpa} < 15 \text{ Mpa}$$

En el segundo caso, siendo la misma fuerza y el área la resta entre el la sección de mayor diámetro ($\phi=17,5 \text{ mm}$) menos la de menor ($\phi=11,5 \text{ mm}$):

$$\tau_1 = 97 \text{ N} / 136,6 \text{ mm}^2 = 0,71 \text{ Mpa} < 15 \text{ Mpa}$$

Como se observa en ambos casos la pieza resistiría al esfuerzo cortante.

8.4 ENSAYO DE LA PIEZA MULTIFUNCIONAL

Esta pieza se ha ensayado en su configuración de reposapiés ya que, en el hipotético caso de una acción no lógica, en la que el paciente se baja de la silla apoyando todo su peso en el reposapiés, sería la función en la que más carga recibe.

Se ha de tener en cuenta que, si esto ocurre, lo más probable es que la silla vuelque antes de que el reposapiés pueda fallar. Por tanto, el voluntario debe estar pendiente de indicar a su paciente que no debe bajar de la silla apoyándose en el reposapiés.

Aún así, se ha procedido a realizar el ensayo para ver que ocurriría.

Se ha supuesto que el **ocupante** apoya todo su peso a la vez (100kg) sobre el reposapiés.

Debido a esta gran carga para una pieza que está empotrada en uno de sus taladros cerca de la esquina, el programa no era capaz de calcular (grandísimos desplazamientos) por lo que hubo que reducir la carga a 10 kg y extrapolar los resultados a 100 kg de manera manual (se están analizando los casos de manera lineal).

Para 10 kg los desplazamientos son de **26 mm** y de tensiones igual a **20 MPa** (cerca del límite elástico).

Por lo tanto para 100 kg los desplazamientos y las tensiones serían 10 veces mayores (**260 mm** y **200 MPa**). Las tensiones superan ampliamente el límite elástico del material $\sigma = 30 \text{ MPa}$, y el valor de los desplazamientos hacen no funcional el reposapiés.

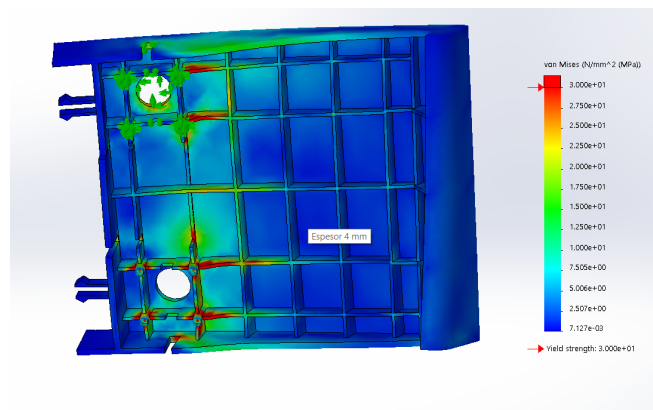


Figura 8.16 Tensiones en pieza multifuncional (carga 10 Kg)

Las soluciones a esta situación pasarían por:

- Aumentar espesores en la pieza: inviable dado que aun aumentando el espesor a 5 mm (que ya es elevado para inyección) no se consigue quedar por debajo del límite del material.
- Cambiar al material de la pieza por plástico más técnico, incluso reforzado con fibra de vidrio: aun eligiendo una PA con un módulo de elasticidad aproximado de 4000 MPa y un límite elástico de 60 MPa no se soluciona el problema. Se recuerda que las tensiones alcanzadas son de 200 MPa, y con un modulo de elasticidad 4 veces mayor que el del PE, los desplazamientos solo se reducirían a la cuarta parte, es decir aproximadamente a 55 mm.

Por otro lado, independientemente de que este cambio no es efectivo por resistencia y rigidez, se debe tener en cuenta que cambiar el material del reposapiés, implica duplicar molde si apoyabrazos y apoyacabezas se siguen inyectando en PE, u optar por un único molde e inyectar todas las piezas con un material mas caro, resultando 3 de ellas muy sobredimensionadas.

- Añadir refuerzo metálico para mantener la pieza multifuncional en un único material, el PE: para ello se subieron los nervios para que una chapa metálica de 2,5 mm de espesor apoyara y trabajara correctamente. Además de añadir el refuerzo, se aumentó el espesor general de pieza así como de los nervios. En este caso se consiguen reducir bastante las tensiones en la pieza de plástico (pero no lo suficiente) y se tiene un desplazamiento máximo de 8 mm. Dado que no se cumplen requisitos, se opta por subir el espesor de la chapa a 3,5 mm. En este caso las tensiones ya no superan los 30 MPa en la pieza de PE y los 350 MPa en la chapa metálica. Finalmente, los desplazamientos quedan en 6 mm.

Los resultados en imágenes del estudio de la pieza multifuncional se pueden consultar en el Anexo 7.

9. UTILIZACIÓN

1º SOLTAR CINCHA

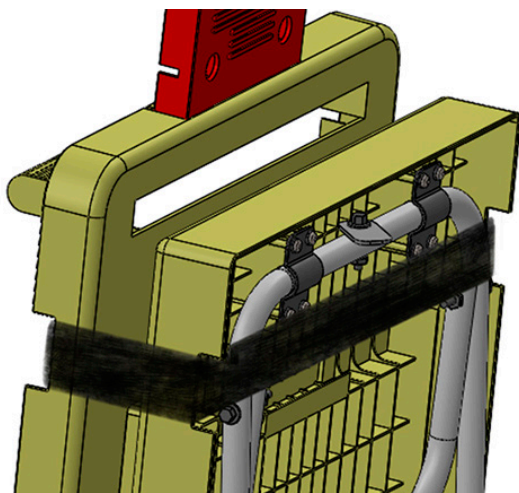


Figura 9.1 Cincha sujetando el conjunto

2º DESPLEGAR EL ASIENTO

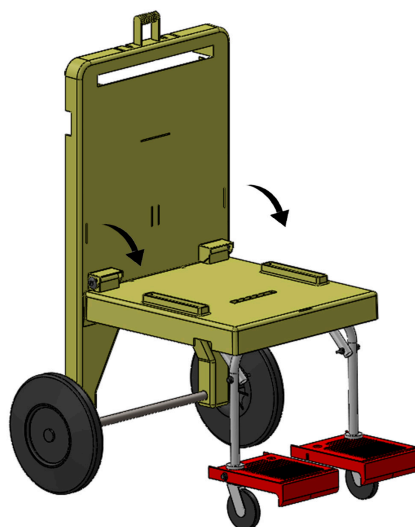


Figura 9.2 Despliegue de la silla

2.1º BLOQUEO CON MANETA

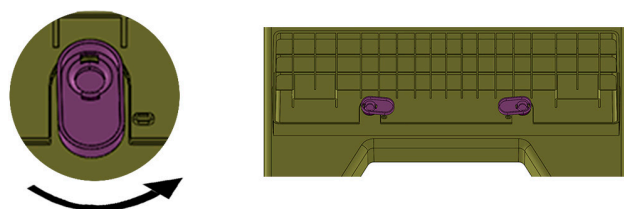


Figura 9.3 Giro de la maneta para bloquear el giro del asiento

3º DESPLEGAR LAS PATAS

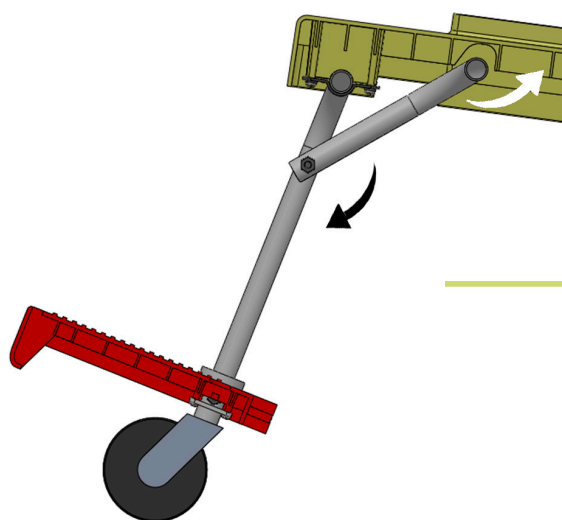


Figura 9.4 Despliegue patas delanteras y del tubo de antiplegado

3.1º BLOQUEO CON PLETINA GIRATORIA

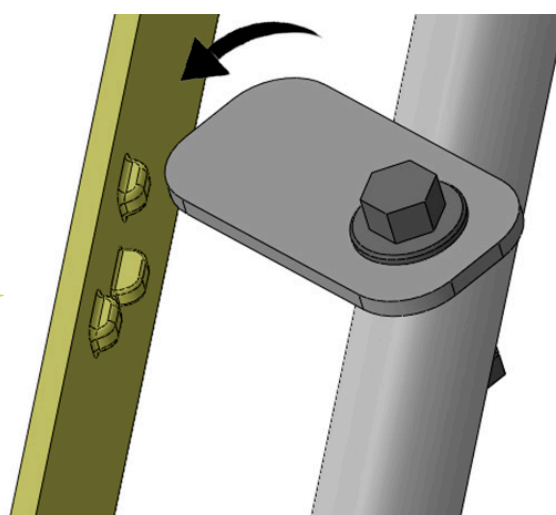


Figura 9.5 Giro de la pletina antibloqueo e inserción en los sobreespesores del asiento

4º EXTRAER APOYACABEZAS DEL RESPALDO

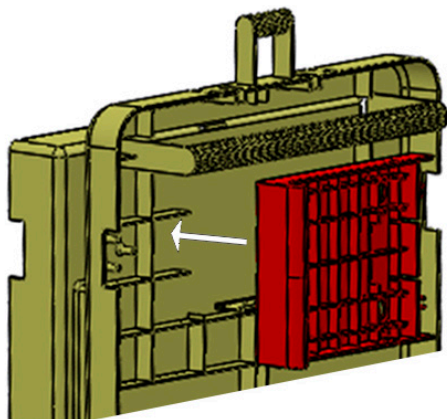


Figura 9.5 Extracción del apoyacabezas (flecha señalando el alojamiento)

5º EXTRAER APOYABRAZOS DEL RESPALDO

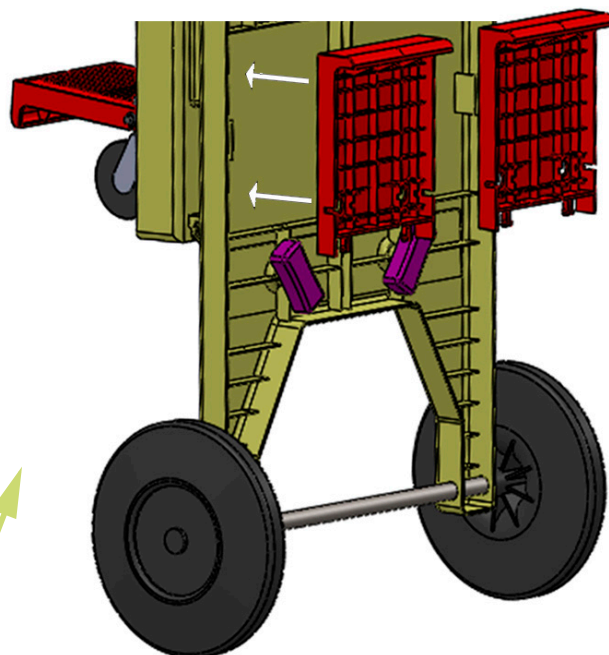


Figura 9.7 Extracción de los dos apoyabrazos (flechas señalando el alojamiento)

4º1 INSERCIÓN DE LOS REPOSABRAZOS

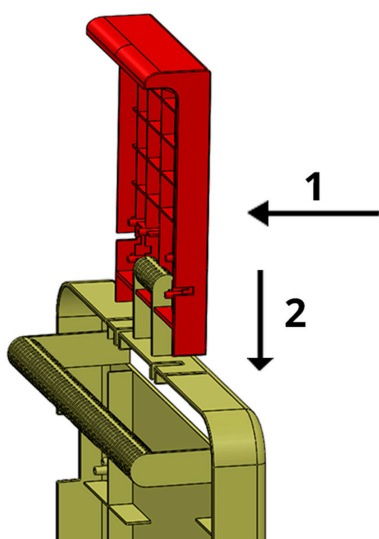


Figura 9.6 Movimientos a realizar para colocar el apoyacabezas de modo que no salga

5º1 INSERCIÓN DE LOS REPOSABRAZOS

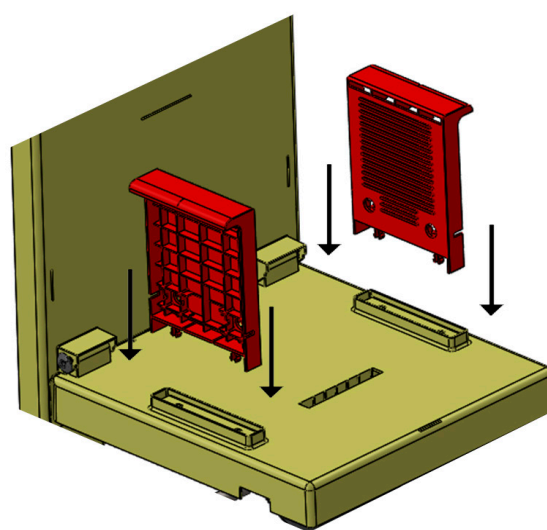


Figura 9.8 Dirección y posición para insertar el apoyabrazos

10. ESTIMACIÓN APROXIMADA DE COSTES

10.1 PROCESO DEL CÁLCULO DE LOS COSTES

Para el cálculo de costes, en primer lugar, se estimará precio de las tres piezas de plástico que se han desarrollado en este TFG: Respaldo, asiento y pieza multifuncional.

El coste de fabricación se estimará en base al coste de materia prima y al coste de fabricación.

Para el coste de materia prima se debe conocer peso de pieza y precio del kilo de material prima, en este caso HDPE.

Para el coste de fabricación se estimará el número de piezas que se pueden inyectar a la hora, y la fuerza de cierre de máquina necesaria para conocer su tasa horaria.

No ha sido objeto de este TFG entrar en el conocimiento del proceso de inyección y de los utillajes/ moldes necesarios, por lo que los datos utilizados para realizar los cálculos han sido en parte facilitados por el TIIP.

Para el cálculo del tiempo de ciclo se usará la gráfica siguiente:

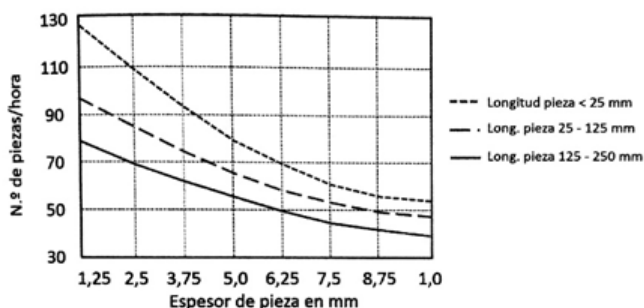


Figura 10.1 Gráfica para determinar el número de piezas por hora en función del espesor y longitud de la pieza

Con el espesor, y el recorrido de flujo, se puede estimar el número de piezas a la hora.

Para el cálculo de la fuerza de cierre se hará uso de la siguiente gráfica [12]

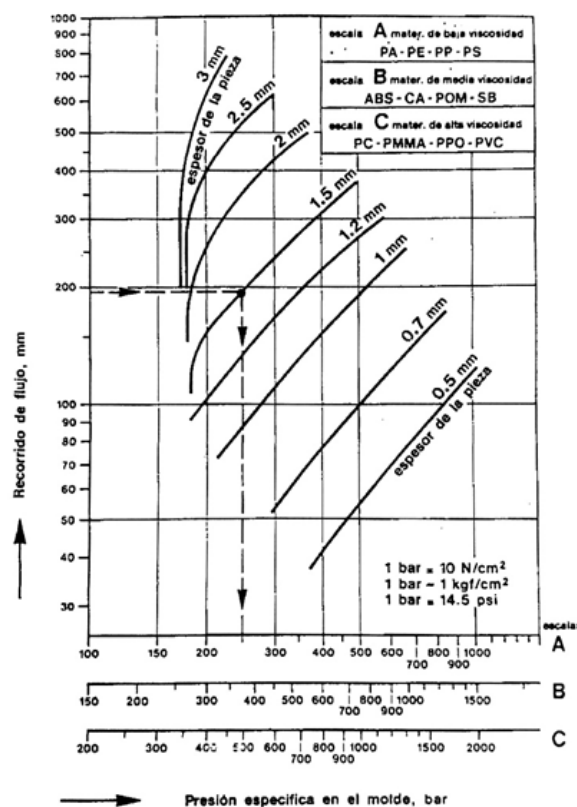


Figura 10.2 Gráfica para determinar la presión específica del molde en función del recorrido de flujo (el más desfavorable desde el punto de inyección), la viscosidad del material (HDPE es la escala A) y el espesor de la pieza.

Conociendo el material, el recorrido de flujo más desfavorable desde el punto de inyección hasta el final del llenado y el espesor de pieza se obtiene un dato aproximado de presión de inyección necesaria.

Multiplicando este dato por la superficie proyectada y aplicando un coeficiente de seguridad de 1,5 se determina el tonelaje aproximado de la máquina.

En la siguiente página se muestra una tabla con el cálculo de los costes de las tres piezas. Las casillas coloreadas en verde representan los datos facilitados por el TIIP, el resto son los datos calculados en el TFG.

	Respaldo	Asiento	Multifuncional	
Peso (Kg)	2	1.6	0.36	
Numero de cavidades	1	1	2	
Recorrido de flujo (mm)	410 (2 ptos)	415	220	
Espesor (mm)	2.7	2.7	4	
Presión estimada (bar) (Figura 10.2)	180	180	150	Coste total de las piezas de plástico desarrolladas en el proyecto
Superficie Proyectada (cm2)	5250	2358	500	
Tonelaje estimado (T)	1500	650	120	
Precio de máquina (€/hora)	90	40	15	
Nº piezas a la hora (Figura 10.1)	70	70	120	
Coste de inyección (€/pieza)	1.3	0.6	0.15	
Coste de material prima a 1.1 €/kg de PE (€/pieza)	2.2	1.8	0.4	
Coste total por pieza (€)	3.5	2.4	0.45	
Nº de unidades	1	1	5	
Coste total (€)	3.5	2.4	2.25	8.15

Tabla 10.1 Cálculo de costes de fabricación

Una vez realizados los cálculos para las piezas de plástico se consulta a proveedores el precio de los restantes elementos, que se resumen a continuación.

	Coste total por unidad (€)	Nº de unidades	Coste total (€)
Manetas	0.32	2	0.64
Tapones	0.15	2	0.3
Ruedas traseras	5.10	2	10.2
Ruedas delanteras	7.4	2	14.8
Tubo en U patas delanteras	1.7	1	1.7
Tubo en U antiplegado	0.9	1	0.9
Pletina metálica bloqueo plegado	0.05	1	0.05
Pieza auxiliar montaje patas	0.08	2	0.16
Eje ruedas traseras	1.3	1	1.3
Cincha ajuste paciente	0.6	1	0.6
Coste total de las piezas compradas			30.65

Tabla 10.2 Cálculo del coste total de las piezas

Sumando las dos cantidades se tiene un coste de aproximadamente **40 euros** a los que habría que sumar la tornillería y el coste del ensamblaje de todas las piezas.



Figura 11.1 Vista frontal de la silla de ruedas

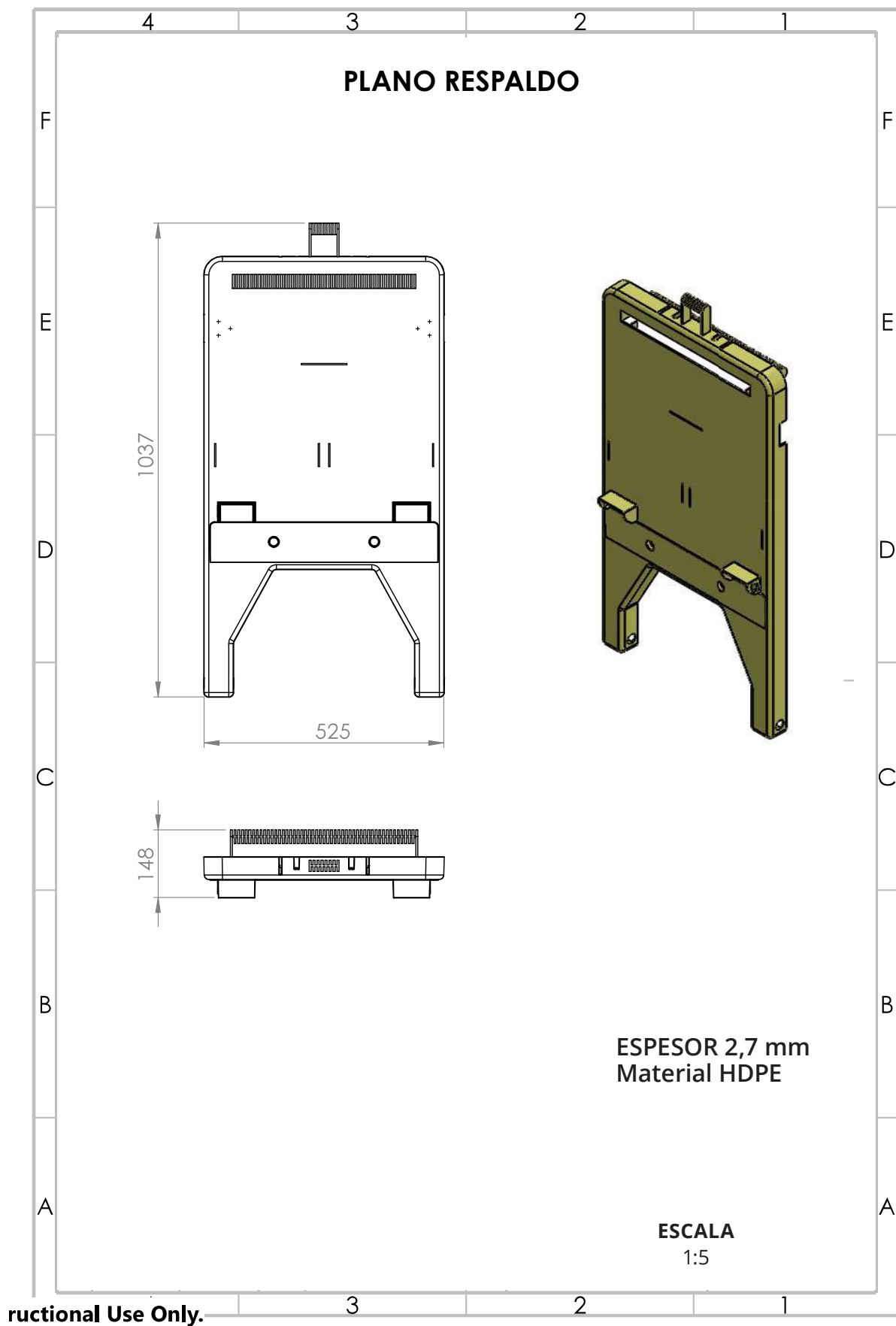


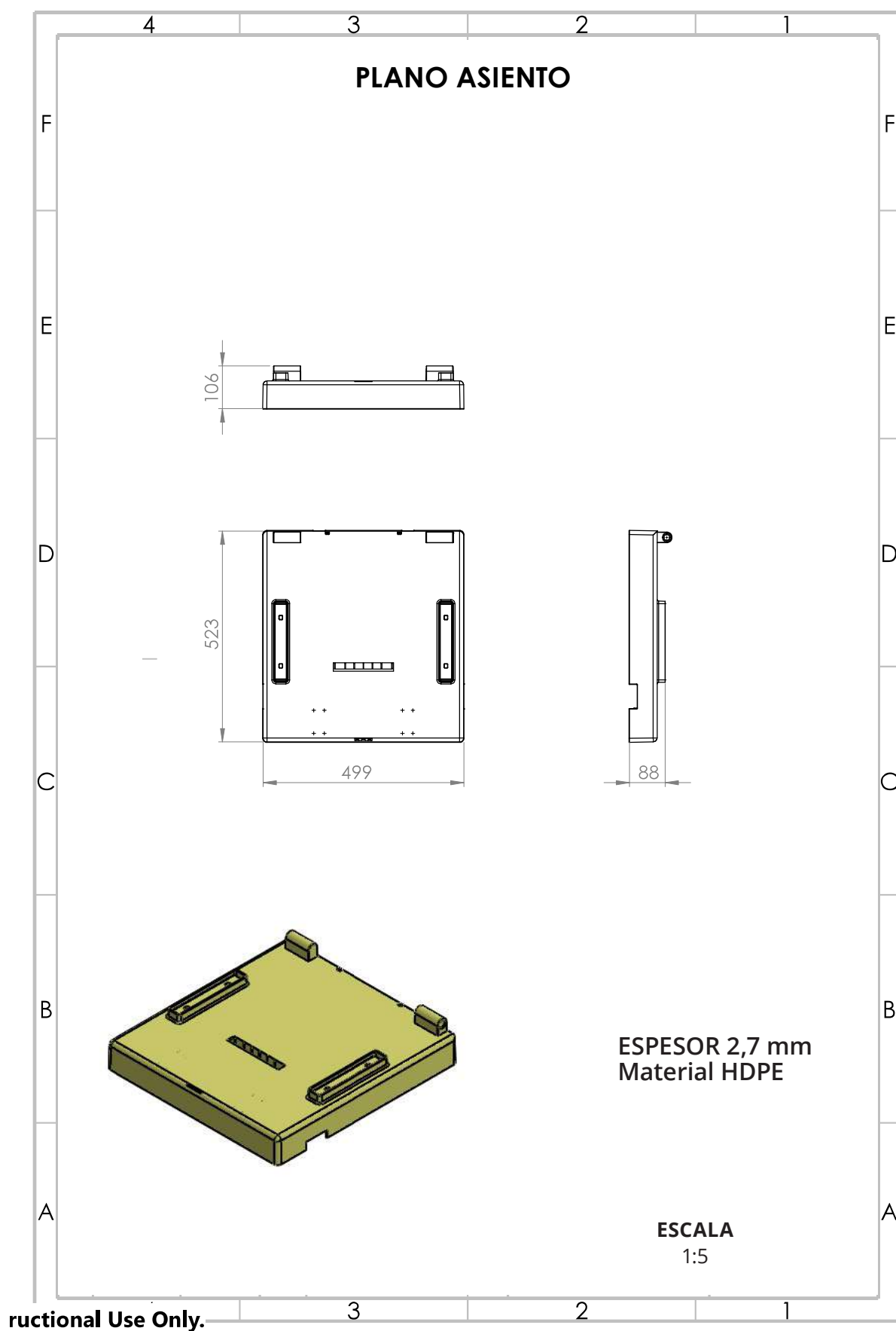
Figura 11.1 Vista frontal de la silla de ruedas plegada

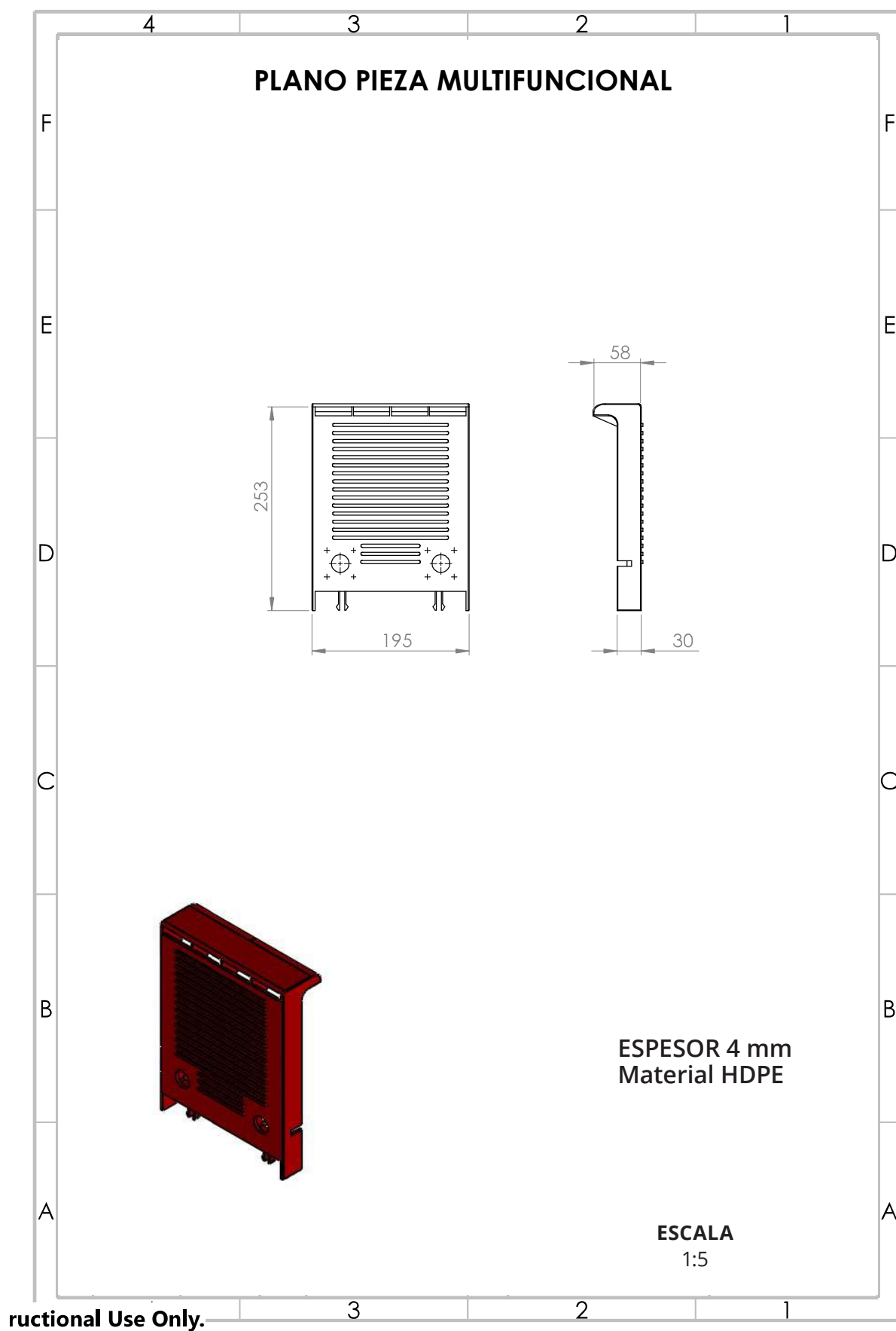


Figura 11.1 Vista trasera de la silla de ruedas plegada

12. PLANOS







13. CONCLUSIONES

Este apartado de conclusiones se va dividir en los dos partes, correspondientes a los dos bloques principales en los que se ha dividido el proyecto, para terminar con unas conclusiones generales.

13.1 CONCLUSIONES ACERCA DEL MODELADO

Se ha conseguido un diseño en el que se han desarrollado tres piezas esenciales que conforman el cuerpo principal de la silla, teniendo en cuenta que una de ellas, la más pequeña, es capaz de cubrir tres funciones diferentes (reposapiés, reposabrazos y apoyacabezas). Además, esta última pieza no necesita ser versionada para derecha e izquierda (pieza sin “mano”). En las tres piezas se ha seguido el criterio de reducir al máximo el número de contrasidas, siendo la pieza multifuncional de desmoldeo directo.

Para conseguir el plegado del asiento sobre el respaldo, se ha aprovechado un tapón que hace las veces de eje para abisagrar las tapas de cubos de recogida de basura. También un conjunto denominado maneta, diseñado en un anterior TFG y que también se usa en sistemas de contenerización, se ha aprovechado como sistema antiplegado de la silla. La implementación de estas dos piezas en el conjunto hace que no sea necesaria una inversión adicional en el utillaje para fabricarlas.

Tanto ruedas traseras como delanteras son comerciales y se ha simplificado al máximo su montaje.

Las únicas piezas metálicas serán los dos tubos en U articulados que conforman el mecanismo de plegado, el eje de las ruedas traseras, y una pletina de seguridad que bloquea el plegado de la silla.

Por último, indicar que se ha tenido muy presente a la hora de dimensionar, el hecho de que el producto sea ergonómico tanto para voluntario como para paciente.

13.2 CONCLUSIONES ACERCA DE LOS CÁLCULOS RESISTENTES

En cuanto a los ensayos resistentes, dado que esta silla está destinada a un uso muy específico, y no se trata de sillas autopropulsadas que siguen una normativa, se han escogido una serie de ensayos que el autor de este TFG considera necesarios para asegurar la funcionalidad de la silla, buscando, además, reducir su peso en la medida de lo posible.

Se ha ensayado que el asiento y el respaldo, sean capaces de soportar el peso de un individuo de 100 kg sin fallar y sin que se produzcan deformaciones elevadas. Además, se ha estudiado que el asiento sea capaz de soportar el choque de las ruedas delanteras contra un bordillo tanto con la silla en vacío como con la silla ocupada.

Los ensayos han hecho posible reducir el espesor inicial de 4 mm que tenían las dos piezas más grandes a 2,7 mm.

En cuanto a la pieza multifuncional, se ha calculado de manera teórica el diseño de los clips que permiten el montaje sobre respaldo y asiento. Por otro lado, se ha realizado una simulación resistente, para ver qué ocurriría en la situación poco probable de que el paciente se baje de la silla apoyando todo su peso sobre un único reposapiés. Este ensayo ha dejado a la vista que es necesario profundizar en el estudio de rigidización y refuerzo de esta pieza.

Tapones y manetas se han comprobado de manera analítica trabajando a cortante.

En resumen, se puede decir que el diseño de las piezas plásticas y las metálicas hacen funcional el producto siempre que su uso sea el adecuado.

13.3 CONCLUSIONES GENERALES

Una vez enumeras las conclusiones de modelado y de cálculo, se añaden en este subapartado algunos datos técnicos del producto.

La silla pesa en total aproximadamente 11 kg, habiendo podido reducir en un 37 % el peso de asiento y respaldo en su conjunto al reducir su espesor ini-

cial. Esto supone una reducción de peso total de la silla de aproximadamente un 13%.

El coste aproximado de fabricación de la silla plegable es de 40 euros, sin tener en cuenta la amortización de la inversión inicial realizada en utillajes, en este caso moldes de inyección, ni la mano de obra. El cálculo de fabricación de las piezas de plástico desarrolladas en este trabajo se ha hecho de manera muy aproximada siguiendo la bibliografía, y sin profundizar en el proceso de fabricación por inyección, ya que no ha sido objetivo de este TFG. El precio del resto de los elementos, al ser comerciales, se ha consultado a proveedores y a personal de TIIP.

14. LÍNEAS FUTURAS

Como líneas futuras de trabajo se proponen algunas ideas que podrían mejorar el diseño del conjunto, y que no se han desarrollado en este TFG debido a lo que aumentaría su extensión con respecto a lo exigido en el plan docente.

Por un lado, se podría pensar en la posibilidad de que los reposapiés fueran plegables o de muy fácil montaje en el lugar de utilización de la silla, para que el conjunto en su posición de plegado sea más compacto y se pueda apilar ocupando menor espacio. Además, se podría pensar en un sistema de ajuste en altura del reposapiés, que en un principio estaba en las especificaciones de diseño deseables (que no críticas). En el presente desarrollo no se ha implementado esta mejora, debido a que se buscaba un sistema muy simple y barato para el producto en su conjunto.

Por otro lado, se propone realizar un rediseño en el que las piezas plásticas pudieran ser de rotomoldeo y de esta manera evitar una inversión inicial tan fuerte de inicio. Los moldes de inyección tienen un coste tan elevado que, para piezas de este tamaño, se hacen necesarias tiradas de 10.000 unidades para que los moldes estén amortizados y el coste del producto sea el que se ha calculado en el apartado 10 de este TFG.

- [1] «COCEMFE CASTILLA Y LEÓN,» [En línea]. Disponible: <http://www.cocemfecyl.es/index.php/discapacidad-y-tu/65-las-sillas-de-ruedas>. [Último acceso: 11 02 2019].
- [2] R. c. l. c. e. i. Ministerio de la presidencia, «Agencia Estatal BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO,» Ministerio de la presidencia, relaciones con las cortes e igualdad, 30 10 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2015/10/30/6>. [Último acceso: 22 04 2019].
- [3] EcuRed contributors, «Dinastía Zhou,» 09 11 2018. [En línea]. Disponible: https://www.ecured.cu/index.php?title=Dinast%C3%ADa_Zhou&oldid=3222780. [Último acceso: 10 02 2019].
- [4] L. B. Martinez, «minusval2000.com,» [En línea]. Disponible: http://www.minusval2000.com/otros/reportajes/historia_silla_de_ruedas/index.html. [Último acceso: 15 02 2019].
- [5] «The Statistics Portal,» [En línea]. Disponible: <https://www.statista.com/statistics/485637/world-wheel-chair-market-volume-by-region/>. [Último acceso: 3 03 2019].
- [6] Wheelchair Foundation, «Wheelchair Foundation,» Marzo 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.wheelchairfoundation.org/programs/from-the-heart-schools-program/materials-and-supplies/analysis-of-wheel-chair-need/>. [Último acceso: 05 03 2019].
- [7] Twister Technology, Inc., «Twister Technology,» Twister Technology Inc. , 11 10 2011. [En línea]. Disponible: <http://www.twistertechnology.com/Process%20Capabilities.html>. [Último acceso: 20 04 2019].
- [8] D. Jiménez, «Tecnología del plástico,» 01 10 2017. [En línea]. Disponible: <http://www.plastico.com/temas/Inyeccion-o-termoformado+122421>. [Último acceso: 24 04 2019].
- [9] Proto Labs Ltd., «9 defectos estéticos y como evitarlos,» [En línea]. Disponible: <https://www.protolabs.es/recursos/sugerencias-de-diseno/9-defectos-esteticos-y-como-evitarlos/>. [Último acceso: 20 04 2019].
- [10] WASI Norm, [En línea]. Disponible: https://www.wasi.de/fileadmin/user_upload/Downloadbereich/kataloge/Catalogo_normalizado_2011.pdf. [Último acceso: 25 08 2019].
- [11] DOW, [En línea]. Disponible: http://www.b2bpolymers.com/TDS/DOW_HDPE_KS10100UE.pdf. [Último acceso: 25 08 2019].
- [12] F. J. Castany, A. Martínez y J. Aísa, Diseño y desarrollo de componentes de plástico inyectados (I): el material, Zaragoza: Pressas Universitarias de Zaragoza, 2013.

Otra bibliografía consultada:

- F.J. Castany, A. Martinez, F. Serraller. “Diseño y desarrollo de componentes de plástico inyectados (II): la pieza” Pressas de la Universidad de Zaragoza, 2014.
- J.E. Shigley, C.R. Mischke. “Diseño en Ingeniería Mecánica”. McGraw Hill, 2002.
- Manual de uso del software CREO/PARAMETRIC.
- Manual de uso del software CREO/SIMULATION.
- Apuntes de la asignatura Análisis Técnico de Propuestas de Diseño. Grado de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto. Autores: Javier Abad, Paula Canalís.
- Ayuda online del software SOLIDWORKS. Complemento Motion y Complemento Simulation.